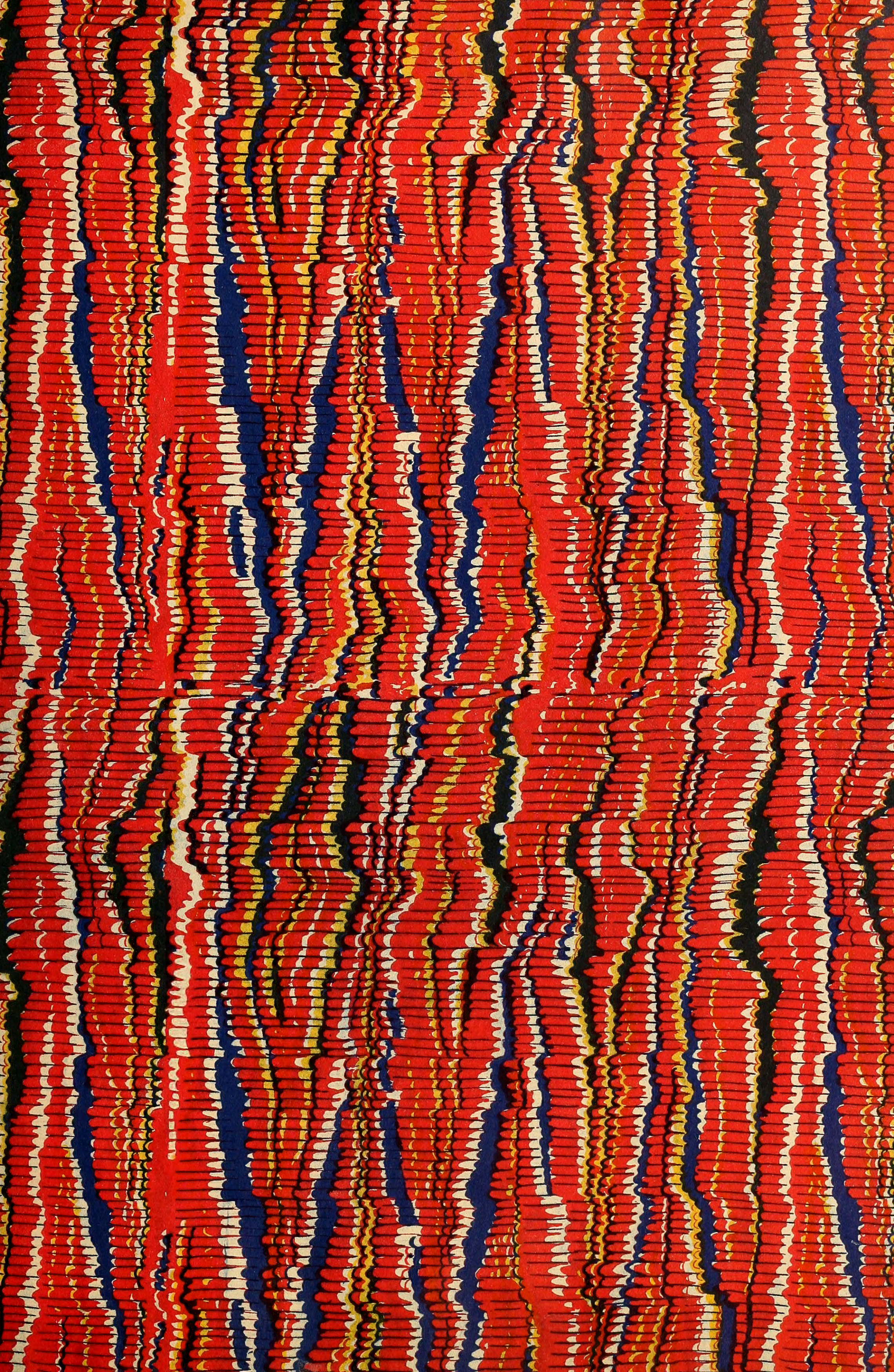




SECRETARIA DE FOMENTO, COLONIZACION É INDUSTRIA.

BOLETÍN

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

NUM. 14.

LAS RHYOLITAS DE MEXICO

PRIMERA PARTE





MEXICO
OFICINA TIP. DE LA SECRETARIA DE FOMENTO
Calle de San Andrés número 15.

1900



BOLETIN

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

Núm. 1.—Fauna Fósil de la Sierra de Catorce, por A. del Castillo y J. G. Aguilera.—1895—56 pp., 24 lám.

Núm. 2.—Las Rocas Eruptivas del S.O. de la Cuenca de México, por E. Ordóñez.—1895—46 pp., 1 lám.

Núm. 3.—La Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatán, por C. Sapper.—1896—58 pp., 6 lám.

Núms. 4, 5 y 6.—Bosquejo Geológico de México.—1897—272 pp. 5 lám.

Núms. 7, 8 y 9.—El Mineral de Pachuca.—1897—184 pp., 14 lám.

Núm. 10.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana por R. Aguilar y Santillán.—1898.—158 pp.

Núm. 11.—Catálogos sistemático y geográfico de las especies mineralógicas de la República Mexicana, por José G. Aguilera.—1898.—158 pp.

Núm. 12.—El Real del Monte, por E. Ordóñez y M. Rangel.—1899.—108 pp., 26 lám.

Núm. 13.—Geología de los alrededores de Orizaba, con un perfil de la vertiente oriental de la Mesa Central de México, por Emilio Böse. —1899.—54 pp. 3 lám.

Núm. 14.—Las Rhyolitas de México (Primera parte), por E. Ordóñez. —1900.—78 pp. 6 lám.

EN PREPARACION:

Núm. 15.—Las Rhyolitas de México. (Segunda parte).

Núm. 16.—El carbón de piedra en México.

Carta Geológica detallada de la República Mexicana.

ESCALA DE 1:100,000.

HOJA N. 1: ZUMPANGO.—HOJA N. 2: PUEBLA.—HOJA N. 3: MEXICO. HOJA N. 4: APAM.
HOJA N. 5: ORIZABA.—HOJA N. 6: TEHUACAN.

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

Director, José G. Aguilera.

LAS

RHYOLITAS DE MÉXICO

POR

EZEQUIEL ORDOÑEZ



MÉXICO
OFICINA TIPOGRÁFICA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO
Calle de San Andrés núm. 15 (Avenida Oriente 51.)

1900

CON la descripción de la extensa familia de las *rhyolitas* que damos en el presente trabajo, tenemos la intención de publicar de tiempo en tiempo estudios sobre las rocas eruptivas mexicanas, comenzando por aquellas que tienen una más amplia distribución en el país, que son sin duda las rocas neovolcánicas.

El crecido número de ejemplares y de preparaciones microscópicas con que cuenta ya el Instituto Geológico, nos permiten emprender este trabajo, que tiene, entre otros muchos objetos, el de uniformar la nomenclatura petrográfica en México y el de dar á conocer la grande variedad que de cada familia de rocas se conoce en el país.

El aumento casi constante de nuestras colecciones petrográficas, al que contribuyen no sólo los miembros del Instituto, sino también muchas personas interesadas en estudios mineros y que ocurren á nosotros para obtener la clasificación, nos facilitará los medios de ir completando sucesivamente nuestras descripciones; y así, poder trazar un cuadro de todas las especies de rocas y de sus variedades, dentro del sistema de clasificación más adaptable á su conjunto.

Son dignos del mayor interés, además del estudio micrográfico, la distribución geográfica de las rocas eruptivas y las condiciones generales de su yacimiento. Por tanto, consagramos un capítulo especial á cada una de estas materias que envuelven en sí un problema geológico de los más importantes.

I

Notas históricas.—Subdivisiones principales de la familia de las rhyolitas. Caracteres macroscópicos de las rhyolitas. Distribución geográfica de las rhyolitas en México.

Es bien sabido por todos, que en el territorio mexicano ocupan extensas áreas las rocas eruptivas terciarias, las que se han presentado en una sucesión cronológica bien definida, cuyos términos hemos tratado de establecer,[1] escogiendo aquellos representantes que por su constancia de composición y caracteres, hasta donde es posible establecerlos en vista de las clasificaciones modernas, y por los múltiples puntos de contacto que tienen entre sí las rocas, son sin embargo bastante característicos para servirnos de ellos como puntos de partida para referir todas las especies intermediarias que resultan, bien de la heterogeneidad de las masas interiores de donde han emanado las rocas á la superficie, bien de la diferenciación de un solo magma por cambios de carácter físico y por lo tanto también de modificaciones químicas.

La predominancia de ciertos elementos químicos en las rocas, los minerales que las constituyen y la estructura, han servido de fundamento á la mayor parte de las modernas clasificaciones; fundamentos en cierta manera racionales, cuanto que ellos nos dan á conocer algo del estado de los magmas intracorticales, ya que no las fases de la sucesión como en un principio se creyó. La consideración del modo de presentarse de las rocas á la superficie, la edad, juntamente con otros caracteres de importancia secundaria, constituyen las variantes de las distintas escuelas de clasificación petrográfica.

Si juzgamos por la estructura, las rocas porfídicas ó microlíticas tienen una predominancia absoluta en la serie de rocas neovolcánicas de México; y si atendemos á la composición, aquellas que tienen un exceso de sílice son muy abundantes, aunque no lleguen á ocupar la primera categoría, que queda reservada á las rocas de mediana proporción de sílice. (Familia de las andesitas.)

Segregadas definitivamente del muy extenso grupo de rocas microlíticas, las rocas con sílice libre, en 1861 por los estudios de Roth y V. Richthofen en Hungría, no tardaron en seguir notas importantes, sobre todo en los Estados Unidos del Norte, que demostraron hasta qué punto se hacía necesaria tal subdivisión y cuán deficientes eran los primitivos métodos de observación. Los interesantes trabajos de Richthofen y de Zirkel en el Oeste de los Esta-

1 "Boletín del Instituto Geológico de México," núms. 4, 5 y 6, 1896.

dos Unidos, inauguraron, por decirlo así, en aquel país, la serie de estudios que se prosiguen hasta nuestros días y de los cuales han sido los principales autores C. King, Emmons, Wh. Cross, Iddings, Hague, Russell, Turner, Becker, etc., y tantos otros que con este motivo han dado también descripciones é ilustraciones más ó menos vivas y elocuentes, de los paisajes pintorescos que adornan las regiones montañosas de Nevada, de Utah y de Oregón, en donde abundan las rocas de que nos vamos á ocupar.

Se comprende desde luego el interés inmediato y la preferencia que hemos dado á los trabajos hechos sobre el particular más allá de la frontera; bien penetrados de aquellas descripciones de carácter puramente micrográfico, nosotros hemos visto pasar por el campo de nuestro microscopio los mismos tipos, las mismas formas, las mismas variedades, y hemos quedado sorprendidos á primera vista de tan estricto parentesco, y convencidos una vez más de la unidad que reina entre ciertos elementos del relieve de la América del Norte, ó más particularmente del Oeste de los Estados Unidos del Norte y algunas de las Sierras mexicanas.

Por otra parte; la grande familia de rocas modernas con sílice libre, "las rhyolitas," tal como ha sido establecida en todas las clasificaciones recientes, es quizá, á nuestro juicio, una de las más bien deslindada á despecho de los múltiples aspectos de sus individuos; prueba de ello es la facilidad con que son reconocidas generalmente aun sín el auxilio del microscopio y la semejanza que tienen los tipos de muy diversas procedencias, tanto de Europa como del resto del mundo, y que han patentizado los admirables y pacientes trabajos bibliográficos de Zirkel y de Rosenbusch en sus *Lehrbuch der Petrographie*, autores que habremos de citar frecuentemente en nuestro estudio.

Los primeros ilustres viajeros que como el Baron de Humboldt pusieron los cimientos de la geología nacional con del Río y otros, siguiendo el ejemplo de Europa, abarcaron con la palabra "pórfido" á la mayor parte de las rocas con estructura microlítica y aun micrograníttica de colores claros. Posteriormente la denominación de "pórfido traquítico" creada por Beudant, restringió un poco la latitud de la primera, y entonces tomaron este nombre la mayor parte de las rocas silizosas según hemos podido comprobar identificando las localidades citadas por otros exploradores y mineros. Ya Humboldt en el Ensayo Político, distingue de los pórfidos, entre otras subdivisiones: los que tienen base vítrea, y así los llama, pórfidos de base de piedra pez (Real del Monte), que corresponde á nuestras retinitas; pórfidos de base de perlita (Real del Monte), y señala independientemente el vidrio con la vieja palabra de "obsidiana" (Cerro de las Navajas) [1].

Los estudios geológicos en México de las primeras décadas del siglo XIX

1 Describe "pórfidos con feldespato vidrioso empotrados en una masa de petro-sílex, jade," etc.

Distingue en Pachuca y Real del Monte los pórfidos de base arcillosa que contienen á las vetas, de los pórfidos de base de piedra pez, que tienen empotrada la obsidiana en "mantos y riñones."

se hicieron de preferencia sobre las regiones mineras más ó menos florecientes en aquella época, algunas de las cuales muestran muchas variedades y predominancia de rocas eruptivas. En muchos de esos lugares no escasean las rhyolitas en la forma de apófisis elevados y más ó menos fantásticamente desgarrados por la erosión (Bufas de Zacatecas, de Guanajuato, Peñas del Jacal, etc.), en donde pudieron observarse las rocas ácidas con caracteres especiales; pero los notables fenómenos de alteración sobre las rocas subyacentes de menor monto de sílice original y la silicificación de estas mismas rocas realizada en momentos de la formación de las ricas vetas minerales allí existentes, debió ocultar por mucho tiempo, no sólo el verdadero origen de estas rocas sino aun independerlas de las otras de edad más moderna y con caracteres no fáciles de distinguir para separar localmente unas de otras.

Así vemos como Burkart en la relación de sus viajes en México, publicada en Stuttgart en 1836, al hablar de las rocas de las Bufas del Mineral de Guanajuato les asigna un origen metamórfico; error no censurable si se atiende á la dificultad que existe para distinguirlas de la serie de capas de tobas de origen ígneo-acuoso y de areniscas que les sirven de base.

Igual carácter sedimentario les asigna Virlet d'Aoust á las rhyolitas de Guanajuato, guiado, como en otros lugares donde él observó la misma clase de rocas, de la notable regularidad y horizontalidad de los gruesos bancos que afectan la forma de capas. No es de extrañar tampoco las ideas de este sabio geólogo francés pues que fué ardiente partidario de las teorías neptunianas; pero algo se avanza en el verdadero conocimiento de su origen cuando dice que estas rocas, (que á veces las llama gros-porphyres), coronan á las formaciones metalíferas de México. Virlet d'Aoust fué también uno de los primeros que distinguió algunas de nuestras rhyolitas con el nombre de "pórfidos cuarcíferos," palabras que fueron de un uso corriente en México entre los geólogos de este país hasta en los momentos de introducir el microscopio y que se hicieron conocer los estudios micrográficos de Fouqué y Michel Levy. Otras veces aquel autor llama á las rocas porfídicas, "pórfidos traquíticos," incluyendo también aquí á las rocas de sílice libre. Cuando habla de las rocas del Real del Monte, distingue, como lo hizo Humboldt, un grupo de rocas como pórfidos metalíferos. Algunos pórfidos traquíticos, dice Burkart, se distinguen por la mezcla de feldespato vidrioso y las masas de esferolitas; por la presencia de la obsidiana, el pórfido de piedra pez y el ópalo de fuego.

Sin embargo de las confusiones á que daba lugar la deficiente observación microscópica y las transiciones que resultan en las rocas por ciertas acciones secundarias, no pudo escapar á la sagacidad de Humboldt la distinción entre las rocas con sílice libre, hoy rhyolitas, y las rocas verdes, andesitas. Extractamos de una página del capítulo XI del Ensayo Político: "Cual sea la relación que exista entre estos mantos, pórfidos de petrosílex, de piedra pez, de perlita, que muchos mineralogistas los tienen por productos volcánicos, y los pórfidos de Pachuca y Real del Monte y en los cuales la naturaleza ha depo-

sitado masas enormes de plata...... es uno de los problemas más difíciles de cuantos ofrece la geología."

En los archivos de la Comisión Científica de México que vieron la luz en 1867, que contienen la descripción de los interesantes viajes de Guillemin Tarayre se ve que recorrió un "perfil barométrico á través de México," entre San Blas y Veracruz, en el que debió atravesar una grande extensión de rhyolitas en las montañas entre el Pacífico y la Mesa Central; aquel viajero las designa sólo como pórfidos. Guillemin llama igualmente pórfidos traquíticos á las rhyolitas del cerro de las Navajas no distinguiéndolas de las rocas andesíticas del Real del Monte ni de las de los Organos de Actopan.

Posteriormente debieron distinguirse en México, en vista de las necesidades cada vez más crecientes de una formal separación de rocas que aún ofrecían diversas condiciones de yacimiento las más de las veces, ciertos grupos que debieron considerarse esenciales en las rocas efusivas neovolcánicas. Así, se creó el grupo de las "traquitas," rocas de tacto rudo y de colores claros, de las cuales es indudable que algunas, aunque raras, pueden recibir ese nombre aun en la definición de esa familia usado actualmente. En resumen: el nombre de pórfido traquítico, la vieja denominación europea, era el usado para muchas rocas que posteriormente hemos venido á reconocer como andesitas; pórfido cuarcífero para la mayoría de las rhyolitas, y la palabra basalto para las lavas de nuestros volcanes. Como se ve, estas divisiones eran las precursoras de la moderna clasificación, que establece divisiones análogas, basándose, entre otras cosas, en la cantidad de sílice que tienen las rocas.

En los momentos de referir nuestras colecciones á los tipos de la moderna clasificación, tomamos para las rocas ácidas indistintamente los nombres de "rhyolita" y de "liparita," los más usados actualmente. De estos dos términos, creados respectivamente por Richthofen y por Roth (1860-1861) y del de "quartz-trachyte" usado con frecuencia por Rosenbusch para todo el grupo, nosotros hemos adoptado la palabra "rhyolita," tanto porque el uso dió á este nombre la preferencia, cuanto por denotar en general un carácter de estructura que es frecuente en estas rocas y á la vez ser el término más usado en los Estados Unidos del Norte, región donde estas rocas son más abundantes de toda la América.

Nota.—Siendo muy poco rico el idioma español en términos de la literatura científica, tropezamos á cada paso con algunas dificultades en el uso de las nomenclaturas. Aquí, por ejemplo, hemos vacilado al adoptar la escritura que debiera mejor convenir á la palabra "rhyolita," pues que la radical se escribe lo mismo en la mayor parte de las lenguas y además no queremos desvirtuar la forma de su escritura original. Pero hay que notar que esa forma no se aviene á la escritura de la lengua castellana y que en España se escribe simplemente "riolita" (Com. Map. Geol. Esp.)

Nosotros, poco consecuentes esta vez con nuestra lengua, respetando la escritura de la palabra en el idioma en que fué creada y por uniformidad de la nomenclatura, escribiremos siempre "rhyolita" como lo hemos hecho anteriormente.

Subdivisiones principales de la familia de las rhyolitas.

Para el estudio que nos hemos propuesto de la extensa y muy distribuída familia de las rhyolitas, nos es indispensable establecer de una vez las subdivisiones á que pueden dar lugar los múltiples aspectos de estas rocas, dependientes en gran parte de cambios en la estructura ó de estado más ó menos avanzado de cristalización de su magma.

No podemos en ningún caso, en vista de los documentos que poseemos, hacer aquella división que con toda cautela formula Rosenbusch cuando distingue en estas rocas, las que llevan como cristales de primera formación el sanidino, las que tienen la albita ó bien feldespatos más básicos; y sólo nos concretamos á estudiar las rhyolitas de sanidino que pueden contener á veces, juntamente con este feldespato y de manera accesoria, sea la albita, la andesina ó el labrador y que no traen con su presencia, ningún cambio, como sucede en las panteleritas, que caracteres nuevos en la roca han originado su separación. Podrán existir estas variedades ó especies, pero nosotros no las hemos conocido todavía en México. No sólo, no hemos tenido ocasión de comparar las rhyolitas como lo han hecho la mayor parte de los petrografistas europeos, con las otras rocas porfídicas con sílice libre de edad preterciaria, llamadas "quartz-porphyr" ó pórfidos cuarcíferos, porque ó bien, como es muy probable, estas últimas rocas son raras en el país, en vista de la pequeña extensión de formaciones paleozoicas en México ó que todavía no haya sido posible distinguirlas por la semejanza de sus caracteres con los de las rocas de igual composición y aspecto, neo-volcánicas.

Concretándonos, pues, á la descripción de las rhyolitas que llevan como feldespato dominante el sanidino, y una cantidad de KO y de NaO casi igual ó en pequeño exceso NaO, tenemos que adoptar para la división los mismos términos y grados adoptados por la mayoría de los autores, no trayendo nosotros, como es de esperarse, nada nuevo en esta parte.

Si las rhyolitas, como todas las rocas porfídicas ó microlíticas consisten de una mezcla de pasta ó magma amorfo con cristales incipientes (cristalitas), cristales en vía de formación (microlitas) y de cristales completos formados antes de la efusión de la roca; parece natural que mediando una composición química muy constante, la cantidad relativa de magma y de cristales de primera consolidación sirvan de base á una primera división. A esto equivale el pensamiento de Richthofen cuando crea el término de "nevadita" que supone, lo que no es lo más frecuente en el grupo de las rhyolitas, que los elementos de primera generación dominan en la roca sobre el magma del segundo tiempo de consolidación. Ahora; el estado más ó menos cristalino de este magma define las subdivisiones: un magma que tiene la composición semejante á la de un feldespato, como todo el magma de este prupo mezclado

con cuarzo ya casi granulítico ó microgranulítico es el de las *nevaditas* propiamente dichas; cuando la pasta es petrosilisosa, la roca recibe el nombre de *feldsonevadita*, y si es vítrea el de *hialonevadita*. Estas variedades son muy raras y aun dudosas en nuestras colecciones.

Siguiendo por su orden las subdivisiones generalmente adoptadas, toca su lugar á las que llaman específicamente liparitas y que nosotros nos permitimos llamar *rhyolitas propiamente dichas* por la restricción ó poco uso que hemos dado en México á la palabra liparita. Este grupo se caracteriza por la abundancia de un magma feldsítico ó microfeldsítico y materia amorfa, que muestran huellas generalmente muy claras de escurrimiento fluidal, reconocibles por bandas frecuentemente sinuosas y diversamente coloridas que se desvían cuando encuentran, como es frecuente, cristales de primera formación. Aquí, como en el grupo siguiente, hay formas de cristalización incipiente, que no existen ó no son frecuentes al menos en el grupo de las nevaditas. Estos son las agregados esferolíticos ó esferolitas, producto de la desvitrificación de los magmas feldsíticos. Y no son frecuentes en las nevaditas porque parece que mientras más abundan los fenocristales en estas rocas menos hay lugar á formación esferolítica, sin que esto llegue á ser una ley general. Entre los elementos de primera consolidación de las rhyolitas, unas veces domina el sanidino, otras veces es el cuarzo y por último estos dos minerales pueden existir más ó menos en la misma cantidad, pero esto no es bastante ni es necesario para hacer una subdivisión. La rareza de fenocristales juntamente con un magma desvitrificado ó mejor casi homogéneo microfeldsítico, da lugar á los tipos llamados "feldsita" y "microfeldsita" ó *litoidita*. La feldsita es algunas veces producida por acciones secundarias sobre rocas de otra clase, como sucede entre nosotros en algunas regiones mineras. Rhyolitas litoides ó *litoiditas* abundan en México en corrientes y parecen caracterizar á las más jóvenes erupciones.

La tercera división de la familia de las rhyolitas la forman aquellas especies en las que el magma de composición química, análoga á las otras, es amorfo y por ello sin acción sobre la luz polarizada. Rosenbusch las llama "vidrios de liparita" (glass–liparit) y que distinguiremos aquí en conjunto con el nombre de *rhyolitas vítreas*, á falta de un término más preciso. Se subdividen en *retinitas* ó *piedra pez* cuando el magma contiene cierta proporción de agua, en *obsidiana* si es una masa vítrea con menos cantidad de agua, ó un vidrio transparente y generalmente de un color que varía del gris al verde y al negro, de estructura perfectamente concoide y que da aristas muy finas. Todo el mundo conoce la obsidiana, de un uso tan frecuente entre los antiguos mexicanos, quienes fabricaron con ella numerosos utensilios; esta roca abunda en muchas regiones del país. Este mismo vidrio, calcinado, de color blanco amarillento, con numerosas cavidades huecas ó llenas de gas, dá la pómez. Algunos tipos de rhyolitas vítreas se confunden á menudo con los vidrios de andesitas ó andesitas vítreas, por lo que habrá que distinguirlos en la mayor parte de los casos, unos como obsidianas andesíticas, otros

como obsidianas rhyolíticas, etc., como lo hemos hecho á veces en la clasificación de las rocas de nuestras colecciones. Sin embargo, para evitar confufusión reservaremos en lo sucesivo, para hacer característicos los nombres, los términos de retinita y obsidiana exclusivamente para las formas vítreas de rhyolitas.

Hé aquí ya completo el cuadro de las subdivisiones de la familia de las rocas ácidas microlíticas que comprende en una casi perfecta gradación, desde un estado casi enteramente holocristalino de un magma, hasta el estado el más vítreo ó amorfo natural que se conoce. Estas subdivisiones de la gran familia de las rhyolitas reposa esencialmente en la abundancia relativa de los elementos cristalizados durante una primera generación comparada con la cantidad de magma semicristalino ó amorfo de última consolidación. También se funda en el estado más ó menos avanzado de cristalización incipiente del magma feldsítico. No se ha tomado en cuenta la composición química que se supone ser muy semejante en todas las variaciones del grupo ó variar dentro de límites no muy amplios y en atención á que nosotros sólo nos ocupamos aquí de las rhyolitas que tienen como feldespato dominante el sanidino.

Nosotros hemos seguido al hacer nuestras subdivisiones, á la mayoría de los petrógrafos, principalmente á Rosenbusch, quien toma por base de la subdivisión las condiciones que antes dejamos asentadas y que son las mismas con que distinguen sus variedades, Zirkel, Richthofen, Iddings, etc.

Las rhyolitas se dividen por lo tanto en

Nevaditas.

- Felsonevaditas.
- Hialonevaditas.

Rhyolitas propiamente dichas.

- Litoiditas.

Vidrios de rhyolita ó rhyolitas vítreas.

- Retinita ó piedra pez.
- Obsidiana.
- Pómez.

Estas últimas presentan á veces un agrietamiento en glóbulos y que se verifica durante el enfriamiento de la roca, dando lugar á una estructura llamada perlítica.

Caracteres macroscópicos de las rhyolitas.

Una vez expuestas las divisiones principales de las rhyolitas, importa conocer aquellos caracteres por los cuales pueden distinguirse fácilmente en la mayor parte de los casos aun macroscópicamente. Se comprende, desde luego, la utilidad de un tal conocimiento, puesto que nos será cómodo reconocerlas sobre el terreno antes de recurrir al microscopio. En los dos primeros grupos ó divisiones de las rhyolitas que hemos establecido, predominan los colores claros, desde el blanco puro que presentan algunas litoiditas (Pachuca, Real del Monte), hasta colores rojo claro y violado de la mayor parte de las rhyolitas propiamente dichas, habiendo todas las gradaciones intermedias del amarillo, del rosa, violado, gris claro, etc.

Muchas de las rhyolitas macizas tienen una dureza superior á la de la mayor parte de las rocas microlíticas por el carácter eminentemente silizoso de su magma, propiedad utilizada en las regiones mineras del país, donde existen estas rocas, empleándolas como piedras de molino (piedras voladoras de Pachuca, Guanajuato, etc.), en las arrastras ó tahonas usadas en los antiguos procedimientos de molienda de los minerales.

El aspecto general de la roca puede ser de los más característicos quizá, excepto el caso en que las rhyolitas tocan los límites de otras familias de rocas, en el supuesto de la fina gradación que existe entre todas las familias, grupos y variedades de las rocas conocidas. Así, por ejemplo; á la simple vista una nevadita puede confundirse fácilmente con una granulita; muchas veces hemos considerado en el terreno como rhyolitas, á dacitas ó andesitas penetradas de cuarzo por acciones secundarias. Pero la frecuencia del cuarzo hialino en cierta abundancia, acompañado casi siempre de feldespato vidrioso empotrados en una masa feldsítica, permite fácilmente descubrir las feldsonevaditas; y aun las hialonevaditas cuando dicha masa presenta el lustre vítreo de la obsidiana ó de la retinita.

Las rhyolitas propiamente dichas no son menos fácilmente reconocibles porque la masa feldsítica, las más veces compacta, tiene la estructura en bandas de fluidalidad paralelas á los planos de escurrimiento de la roca. Estas bandas de diferente coloración y densidad ó compacidad, suelen ser muy finas y presentan el aspecto de un jaspe como es el caso para las rhyolitas de Tula (Hid.), que muestran bandas alternas de color blanco gris y rojo muy sinuosas y no interrumpidas. Otras veces estas bandas anchas y compactas alternan con otras menos duras, esponjosas ó cariadas y con numerosos granos de cuarzo y feldespato como en rhyolitas de la Sierra Madre; otras en fin, macizas y sin bandas, de superficie uniforme, muestran aquí y allá secciones esquinadas de cuarzo y á veces también de algún mineral ferromagnésico de color pardo.

La estructura en masa de las rhyolitas con bandas de escurrimiento presenta tan grande variedad que sería difícil mencionar los múltiples aspectos macroscópicos. Muchas veces sucede que tales bandas muy finas y muy delgadas definen planos de más débil resistencia, y según ellos se dividen las rocas en lajitas muy delgadas. Tenne cita esta exfoliación en las rhyolitas gris azuladas de las Navajas. En hojas tan finas como de un cartón se separan las bandas de rhyolitas de muchas localidades mexicanas, no citando aquí más que aquellas procedentes de cerca de Tequixquiápam.

Más fácilmente son reconocibles macroscópicamente las rhyolitas cuando en su masa hay agregados esferolíticos de dimensiones perceptibles, porque se dejan ver en la superficie las secciones circulares de los esférulos con zonas concéntricas finas de diversa coloración; líneas muy finas obscuras separan á veces unos de otros los esférulos. Las rhyolitas del cerro de Chichíndaro, sumamente esferolíticas, muestran á la simple vista este doble carácter. Cuando los glóbulos esferolíticos son más resistentes que la masa feldsítica en la que vienen empotrados, entonces las rocas al partirse conservan dichos glóbulos completos, de un color distinto del de la masa de la roca. Rhyolitas con grandes esferolitas de las Bufas de Zacatecas dan superficies arriñonadas. En las de San Felipe, en el Distrito de San Miguel de Allende, las esferolitas vienen diseminadas en una toba rhyolítica tan poco consistente, que la desintegración de la roca deja desprender glóbulos duros de todas dimensiones, que se encuentran en abundancia en el terreno. Obsidianas y retinitas esferolíticas dan lugar al mismo fenómeno en las montañas de Apaseo el Alto en el E. de Querétaro. En esta región, las esferolitas enteramente esféricas, de color rojo, se hallan diseminadas en una masa vítrea, negra ó gris, dando un agradable contraste. Las esferolitas se distribuyen á veces en regueros ó hiladas paralelas.

Una superficie uniforme y unida, una estructura concoide y á veces un ligero lustre vítreo caracterizan á las rhyolitas litoides á más de un color bastante claro. Las litoiditas de Yahualica en Jalisco son azul–violadas, las de Real del Monte son blancas, las de los Cubitos en Pachuca tienen la textura y lustre de la porcelana.

Es inútil insistir más sobre los diversos aspectos macroscópicos de las rhyolitas, que un ojo poco ejercitado las puede distinguir. Los vidrios rhyolíticos son tan característicos que no necesitan descripción; las obsidianas varían desde un color negro ó verde obscuro, con bordes transparentes y del aspecto del vidrio (Navajas, Zacualtipam, Juanacate, etc.), hasta naranjadas y rojas con lustre casi de pez y de bordes poco translúcidos (Maravatío).

Las mismas coloraciones tienen la piedra pez ó la retinita, caracterizada por su lustre, sólo que el color que más domina en las retinitas mexicanas es el pardo que tira al negro ó al rojo.

El estudio de las formas que afectan en el terreno las montañas constituídas por rhyolitas así como la estructura en masa de estas rocas, completaría el cuadro de caracteres para la determinación macroscópica; pero esta materia

interesante cabe mejor en la descripción que hacemos adelante de localidades típicas de rhyolitas mexicanas, en donde hemos procurado facilitar la descripción con varias vistas intercaladas en el texto, dando con ellas una idea del aspecto fantástico y gracioso de muchas de nuestras montañas de rhyolitas.

Distribución general de las rhyolitas en México.

Tan ampliamente desarrolladas como están las rhyolitas en el territorio mexicano, ya cubriendo extensiones considerables de terreno, ya esporádicamente, como dijimos al principio, asociadas á depósitos sedimentarios ó subordinadas á rocas eruptivas de otra composición, hay sin embargo una región circunscrita, hasta ciertos límites, en donde estas rocas adquieren grande predominancia, y dan, por decirlo así, al terreno una facies peculiar.

Las rhyolitas se extienden en una parte de la Mesa Central que comprende principalmente el borde septentrional de la región de los modernos volcanes y en la Sierra Madre Occidental, por excelencia eruptiva. En dicha Sierra Madre, las rhyolitas se encuentran desde cerca de la frontera con los Estados Unidos hasta el paralelo 21 de latitud. Al Sur de este paralelo, estas rocas ocupan áreas insignificantes y son muy raras en la Sierra Madre del Sur, sobre todo en sus vertientes del Pacífico, constituída en general por una faja arcaica de granitos y pizarras cristalinas.

Las rhyolitas en la Mesa Central, se encuentran con frecuencia en la forma de apófisis y por lo tanto extendidas en pequeñas áreas. No escasean sin embargo grandes superficies cubiertas de numerosas corrientes, las que adquieren un pleno desarrollo en la Sierra Madre, resultando de aquí una distinción que no reviste una clara especificación, pero que podemos considerar característica.

Se admiten hoy generalmente varias formas de erupción para ciertas familias de rocas, formas sugeridas por las condiciones de sus yacimientos. De estas formas, consideramos aquí las erupciones por grietas alargadas en determinada dirección que corresponde las más veces á la dirección general del relieve de la región, y las erupciones que parten de un centro ó foco que es susceptible de desalojarse. El primer tipo caracteriza de alguna manera á las primeras erupciones terciarias, y entre nosotros á las erupciones del mioceno, de gran interés tectónico por su abundancia. El segundo tipo es casi el único bajo el cual aparecen las lavas de los recientes y contemporáneos volcanes que emiten sobre todo, como es sabido, lavas básicas ó por lo menos de bajo monto de sílice. Pues bien; las rhyolitas de la Sierra Madre se han manifestado al exterior por grietas de considerable longitud, en corrientes que han ocupado inmensas áreas eruptivas ya fuertemente denudadas y que cubren con espesores hasta

de 1000 metros. En los acantilados gigantescos que limitan á largos y profundos cañones, se ven en corte vertical, con admirable regularidad, las numerosas corrientes de rhyolitas, en posición próxima á la horizontal, separadas por bancos gruesos de tobas y de material detrítico, producto de aquellas mismas erupciones. Las rhyolitas de la Mesa Central han salido por angostas y pequeñas grietas, ó por un centro ó boca; han abierto una chimenea y se han derramado al rededor de este punto, dando corrientes inclinadas conforme á la pendiente primitiva; á veces la fuerza eruptiva insuficiente, ha dado sólo origen á mamelones del tipo de los Puys ó á angostas crestas cubriendo la grieta de salida. Podemos reconocer hoy, aun á despecho de la avanzada erosión de los campos de rhyolitas, el carácter explosivo de algunas erupciones que da nacimiento á cráteres de grandes dimensiones en lugares excéntricos al foco principal de actividad y que formaron también cráteres lagos semejantes á los de la Auvernia y del Valle de Santiago, alimentados por aguas profundas calentadas por abundantes fumarolas, que han dado origen á sedimentos de tobas endurecidas químicamente en el fondo de estos inmensos circos, cuyas huellas encontramos al pie de muchos domas llamados en México "Bufas," que despertaron tanto la atención de los primeros que hicieron exploraciones geológicas, siendo aquellas para unos, como Burkart, de origen metamórfico, y para otros, como Humboldt, reconocidos como de origen eruptivo.

Como se ve por estas observaciones y las que expondremos al hablar detenidamente de las rhyolitas, la forma explosiva de las erupciones debe ser tan antigua seguramente como las erupciones por un volcán ó chimenea en el uso estricto de la palabra. Se puede probar en las regiones eruptivas de la Mesa Central Mexicana, que á las erupciones por angostas grietas han sucedido erupciones de volcanes y á éstos formaciones de cráteres de explosión, como el resultado de una disminución de la energía interior y que estos distintos modos de manifestación han tenido lugar no especialmente en lavas de reciente aparición, sino principalmente en rocas eruptivas miocénicas y pliocénicas, de las cuales las rhyolitas han venido á ser en algunas partes el término final, el producto último de una larga serie apenas interrumpida de erupciones y también frecuentemente de sólo paroxismos.

Para dar una idea de la distribución general de las rhyolitas en México, hemos preparado la carta que va al fin de este estudio en la que hemos cubierto con tinta roja las áreas de estas rocas. Muy lejos estamos de haber trazado con grande exactitud dichas áreas, pues no tenemos completo el levantamiento geológico del Oeste de México, pero sí creemos que dista poco de la verdadera área total que las rhyolitas cubren en todo el país. Para la mejor inteligencia de las descripciones regionales y del estudio micrográfico, hemos marcado con números las principales regiones que sirven de referencia al texto y á la lista de localidades que lleva la misma carta. A la simple vista, la carta muestra que las rhyolitas se encuentran en mayor cantidad en la porción septentrional del río de Santiago hasta Durango, desde el poniente de

Zacatecas hasta cerca de las costas, ó sea en la Sierra del Nayarit y sus prolongaciones. Igual cosa puede decirse del espacio al poniente entre Durango y Chihuahua, aunque algo más diseminadas. Independientemente cada área se alarga en la dirección de los valles longitudinales y ocupan de preferencia las cimas de las Sierras. Es indudable que de la faja rhyolítica de la Mesa Central y del Sur de la Sierra Madre, las rhyolitas han desaparecido en muchos puntos debajo del manto de lavas, tobas y cenizas del gran número de volcanes basálticos y andesíticos post-pliocenos que vemos esparcirse con profusión en la Mesa del Anahuac.

En los párrafos siguientes vamos á procurar dar una idea de la estructura general de las rhyolitas en el terreno, del aspecto peculiar que comunican al paisaje, y desarrollar algo más lo que hemos dicho sobre la manera cómo estas rocas se han manifestado al exterior. Hemos elegido para nuestra descripción regiones del país que nos han parecido típicas para mostrar los distintos modos de yacimieuto. De la Sierra Madre occidental ya hemos hecho en nuestro Boletín números 4, 5 y 6, varios cortes transversales, particularmente instructivos desde el punto de vista de la extensión de las rhyolitas. De la Mesa Central hablaremos de las regiones más importantes, con especialidad de campos rhyolíticos inmediatos á los Distritos mineros.

II

LAS BUFAS.



Rhyolita.—La Bufa Grande.—Guanajuato.



Toba rhyolítica.—Una de las Peñas Comadres.—Guanajuato.

Tip. y Lit. "La Europea"—22 910

Las bufas de Guanajuato.

Casi tan antiguo como el descubrimiento de los ricos minerales de Guanajuato y Zacatecas es el uso de la palabra "Bufa," nombre con que los mineros designaron á masas de rocas de formas caprichosas que coronan las cimas de algunas eminencias en la proximidad de esos grupos de vetas argentíferas.

Estas montañas así fantásticamente desgarradas no tienen en los dos centros mineros mencionados una altura mayor que la de los cerros vecinos, pero rompen de tal modo la monotonía resultante de las formas arredondeadas que adquieren por erosión las montañas de tan altas cuanto extendidas serranías, que no pudieron dejar de llamar vivamente la atención de los mineros. Pero esta particularidad puramente objetiva no es la única que distingue á estas masas rocallosas acantiladas; desde el punto de vista geológico, el contraste es aún más marcado. En rocas eruptivas se alojan una gran parte de las vetas metalíferas de estos Distritos, de origen eruptivo son también las Bufas y sin embargo la roca de estas últimas nunca se ha visto cruzada por las vetas. El examen petrográfico nos lleva desde luego á establecer las diferencias de carácter mineralógico y el estudio de la sobreposición, la época diferente de su aparición. La roca de las Bufas es de naturaleza rhyolítica, las rocas verdes "metalíferas," como en un tiempo se les llamó, contienen menor cantidad de sílice; por lo tanto en las mismas condiciones de energía de la erosión han sido menos fácilmente desagradables las rocas silizosas de las Bufas y en las que las variantes de estructura y de consistencia, tan frecuentes en esta familia de rocas, dan origen en definitiva á su aspecto caprichoso.

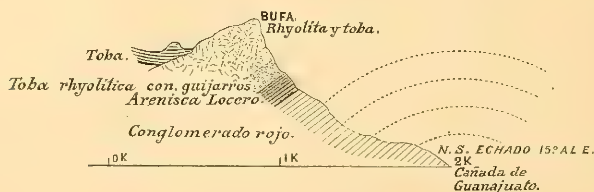
La sierra de Guanajuato y localmente la parte de la sierra que comprende el distrito minero del mismo nombre es geológicamente muy complexa, y ha habido opiniones muy diversas no sólo en cuanto á la edad de las rocas que son de aspectos y naturaleza muy diversas, sino también sobre el origen de algunas de ellas. No entraremos aquí en esta materia difícil, simplemente indicaremos, como lo hemos hecho ya en otra parte, que á las rocas de las Bu-

fas se les ha asignado por unos un origen eruptivo y Humboldt parece sugerir el primero la idea; por otros un origen sedimentario y metamórfico, siendo esta la opinión á que se adapta un escritor contemporáneo, D. Pedro López Monroy[1] en su obra "Las Minas de Guanajuato," quizá adaptando sus ideas á las del Sr. Burkart que escribió en 1836.

El estudio al microscopio de las rocas de las Bufas de Guanajuato y un examen detenido en el terreno, nos revela su origen ígneo-acuoso y aun en partes puramente ígneo.

Las Bufas de Guanajuato (Lám. I) se levantan al S.E. de la ciudad, formando una cornisa elevada al frente de la cañada de Guanajuato y que limita á una meseta elevada de la cual sobresalen las peñas de las Bufas. Esta meseta tiene una altura de 2,350 metros sobre el mar, sus extremos son el cerro de Chichíndaro al E., formado de un excelente tipo de rhyolitas esferolíticas, la Bufa Grande al W. y la de la Yerbabuena al S.W., teniendo estas dos últimas una altura poco más ó menos igual, de 2,385 metros próximamente sobre el mar. Estas dos grandes Bufas están sostenidas por bases de pendiente fuerte, que caen bruscamente á los valles que se abren en el Bajío y están separadas una de otra por la profunda barranca de la Yerbabuena, que corta la meseta desde el cono truncado llamado la meseta de Calderones. La mesa á la que sirven de corniza las Bufas en una extensión de dos kilómetros enfrente de la cañada de Guanajuato, forma parte de un estribo que se desprende de la arista principal de la Sierra en los flancos S.W., que van á limitar el Bajío. La aridéz típica de la región, las fuertes pendientes, los muros acantilados de las Bufas de 40 á 50 metros de altura, permiten con facilidad seguir desde las goteras de la ciudad, el orden de sobreposición de las rocas; y de esta manera asegurarse de que las Bufas ocupan la cima de las formaciones, cubriendo á una parte de sedimentos, con anterioridad desviados de su posición horizontal primitiva.

Al efecto ponemos aquí un corte que muestra la posición relativa de las rocas.



Las Bufas descansan sobre una extensa formación sedimentaria constituída principalmente por un conglomerado rojo de potencia que pasa de 400 metros. Dicha roca en bancos gruesos, ocupa una extensión considerable

1 Pedro L. Monroy.—Las Minas de Guanajuato.—Anales del Ministerio de Fomento.—Tomo X, 1888.

al Sur y al S.W. de la ciudad de Guanajuato formando pliegues muy tendidos descabezados por la erosión. En los lugares donde está tomado nuestro corte, el rumbo de las capas de conglomerado rojo varía de N. á S. hasta N. 45° W. y el echado al N.E. y de 15° cambia poco á poco al E. conservando una inclinación muy constante de 10° en un gran espacio. Muy cerca del pie de las Bufas y á una altura de 2290 metros sobre el mar, ó sea de cerca de 300 metros sobre el centro de la ciudad, el conglomerado va cambiando lentamente hasta transformarse en una arenisca roja primero, y verde de varios tintes después; muy consistente, dividida en capas delgadas y penetrada de cuarzo, lo que le da un aspecto de toba. Suelen encontrarse intercaladas capitas muy delgadas de piedra córnea. Esta serie de capas, designadas con el nombre de *locero* conservan su estratificación enteramente concordante con la del conglomerado y ocupan la parte superior de esta vasta formación. El espesor total del grupo de capas de locero no va más allá de 50 metros.

En brusca transición y en contacto inmediato con el locero, se levantan los acantilados de las Bufas, roca sin estratificación y sin ninguna otra estructura regular. Con una potencia de 80 á 100 metros, esta roca, á veces maciza, á veces poco coherente, de color gris ó más generalmente rosada, ofrece el mismo aspecto y composición. En la fractura fresca, la roca tiene un aspecto terroso en parte semejante al de la pómez. Se distinguen también puntos pequeños negros de mica biotita, la que accidentalmente viene en grandes pilas exagonales; uno que otro cristalito de cuarzo bipiramidado, y por último, cristalitos algo alterados de feldespato.

El aspecto de la roca, su ligereza, etc., muestran inmediatamente el carácter de una toba, de una toba rhyolítica, como se ve claramente en las láminas delgadas. En efecto; en la mayoría de las preparaciones, un magma finamente polarizado y microfeldsítico, acusa su origen detrítico, es decir, de material cinerítico acumulado y consolidado. Fragmentos de feldespato, probablemente albita, se hallan empotrados en el magma, así como cristalitos de cuarzo fuertemente corroídos. La mica ferrífera, de fuerte dicroismo, se halla á veces muy dividida hasta en agujas; y toda la superficie de las preparaciones se ve á la luz natural salpicada de puntos de fierro negro como polvo y manchitas amarillas de alteración, las que quitan la limpidez de dichas preparaciones. Exactamente la misma descripción conviene á la roca procedente de la Bufa de la Mojonera, que suele presentar además englobado en el magma, fragmentos de rhyolita esferolítica y aun pedazos de andesitas alteradas. La roca de cerca de la Bufa Grande, es algo más ligera, más rosada, y sólo muestra el carácter finamente polarizado de la toba y raros fragmentos de cuarzo ó feldespato.

En la base de los acantilados de las Bufas, cerca del contacto con el locero, las tobas rhyolíticas envuelven gran cantidad de fragmentos de rocas de muy diversa naturaleza, con aristas agudas ó arredondeadas, especialmente de granitos de biotita, fragmentos de pizarra, de andesitas, de conglomerado rojo, etc., materiales arrancados indudablemente de la chimenea volcánica du-

rante las violentas explosiones que dieron origen á tan abundantes productos ceneríticos. Este es, á nuestro modo de ver, el origen de las tobas que constituyen las Bufas, por más que no sea posible reconocer ahora los lugares por donde pudieron haberse verificado tales erupciones. Este fenómeno de violentas explosiones originando grandes áreas cubiertas de tobas rhyolíticas, ha sido considerado muchas veces como el único capaz de engendrar tales productos de naturaleza rhyolítica. El profesor Turner,[1] al hablar de las rocas de la Sierra Nevada, supone que muchas rocas de naturaleza rhyolítica que cubren en aquellas regiones á los aluviones auríferos eocenos, han sido verdaderas acumulaciones de lodo rhyolítico, otras han caminado como corrientes de lava fundida. Algunas de estas tobas rhyolíticas contienen, como las de Guanajuato, fragmentos aprisionados de otras rocas, y la masa más ó menos vítrea envuelve la plagioclasa, el cuarzo y la mica en fragmentos.

En las lomas de los condados de Calaveras y Amador en California, estas tobas forman los cornisamientos de mesetas. En el Estado de Colorado, en las regiones mineras de Silver Cliff y Rosita Hills, abundan las rhyolitas, que se muestran ya en diques como en corrientes. Muchas de ellas han hecho erupción por grietas, pero también abunda el material detrítico que Whitman Cross[2] supone producido por violentas explosiones y que forma allá acumulaciones de gran espesor; también estas rocas envuelven fragmentos arrancados del primitivo subsuelo (fragmentos de granito, de gneiss, de andesitas, etc.). Podríamos citar más casos, pero estos bastan para demostrar que la forma explosiva de los volcanes de rhyolitas de edad neocena, ha sido tan común casi como en algunos de nuestros volcanes modernos de rocas básicas.

Sobre las tobas rhyolíticas de la alta meseta á la que sirven de cornisa las Bufas, descansa, cubriendo una área considerable, otra toba rhyolítica de color blanco verdoso menos consistente y con excelente estructura columnar. Dicha roca cubre á una parte del cerro de Sirena, la base del cerro de Chichíndaro, el cerro del Meco y otras alturas que sobrepasan la mesa, como la meseta de Calderones, etc. El trabajo de erosión sobre esta roca columnar ha dado formas muy características, citando especialmente las conocidas "peñas Comadres," curioso grupo de rocas casi en el borde de la mesa de las Bufas (lám. I, fig. 2). En esta roca también abundan fragmentos de pizarra, de pómez y de otras rocas, y parece haber escurrido como una corriente de lodo. En parte ofrece el carácter de una verdadera sedimentación en capas delgadas con la textura de una brecha. En la región de Sirena, esta roca descansa directamente sobre el conglomerado, en Chichíndaro sobre las rhyolitas, y al S. de esta montaña, sobre andesitas verdes y aun sobre el *locero*.

Rhyolitas macizas en la forma de domas y de corrientes abundan en la Sierra de Guanajuato, no sólo sobre la cresta principal, sino también en sus

1 Rocks of the Sierra Nevada—H. W. Turner.—Fourteenth Ann. Rep. U. S. Geol. Surv.

2 Whitman Cross—Geology of Silver Cliff, Rosita Hills, Colo.—Seventeenth Ann. Rep. U. S. Geol. Surv., 1895-96.

flancos. Abundan especialmente al N. del cerro del Gigante, cerca de Santa Rosa y en el extremo S.E. de la Sierra, abarcando una extensión considerable. Reaparecen en las cercanías del Mineral de San Luis de la Paz al E. de la Sierra de Guanajuato; en San Miguel de Allende y en otros varios puntos de los flancos meridionales de la serranía. Al Sur de la mesa de las Bufas, en una parte desprendida de la Sierra, llamada Sierra de San Gregorio ó del Chevo, las rhyolitas macizas rodeadas de tobas de la misma naturaleza que la de las Bufas, forman la mayor parte de las montañas de esa región que allí limitan á la llanura del Bajío. Estas rhyolitas son bastante duras para servir de piedras de molino en los arrastres (piedras voladoras). Son de varios aspectos y coloraciones, pero domina el color rojo; tienen una estructura en bandas de escurrimiento y el microscopio muestra el magma feldsítico con numerosas lagunas de cuarzo de impregnación, segregaciones esferolíticas del mismo cuarzo secundario y geodas tapizadas de pequeños cristales de ese mineral.

Hemos llamado ya muchas veces la atención sobre la frecuencia de este fenómeno de silicificación en las rhyolitas y en otras rocas de nuestras regiones mineras, hechos que sugieren la idea de una relación entre las acciones fumarólicas que siguieron á las erupciones de rhyolitas y la formación de los criaderos minerales.

Estas rhyolitas de que hablamos tienen muy pocos cristales de cuarzo primario, y sí mayor número de cristales de sanidino con regueros de inclusiones gaseosas.

En frente de la cañada de Guanajuato se levanta el cerro de Chichíndaro en el extremo de la mesa de las Bufas. Rodeada de andesitas y de tobas rhyolíticas verdosas, la cima, de forma arredondeada, está constituída de un macizo de rhyolitas de color rojo y rosado en bancos gruesos ligeramente inclinados. La base del macizo la forman rhyolitas muy esferolíticas, reconocibles á la simple vista por el tamaño de las secciones de los glóbulos esferolíticos. El microscopio revela una mezcla de magma feldsítico y de magma vítreo incoloro con numerosas aglomeraciones triquíticas alineadas fluidalmente. A la luz natural, los grandes glóbulos esferolíticos dan anillos concéntricos opacos, en donde las aglomeraciones triquíticas están, por decirlo así, concentradas; á la luz polarizada dichas secciones esferolíticas dan una estructura radiante de cruz negra característica. Como elementos de primera consolidación, sólo se encuentra generalmente el sanidino en cristalitos enclavados en el interior de las esferolitas. La estructura esferolítica de estas rocas va disminuyendo gradualmente hacia la cima de la montaña, á medida también que el magma va siendo más puramente feldsítico y con numerosas secciones de cuarzo secundario.

Cerca del cerro de Chichíndaro desaparece el crestón del principal filón de Guanajuato "la veta Madre," y no sería posible demostrar, mientras no se prosigan los trabajos de las minas en esta dirección, si esta montaña fué primitivamente, lo que es muy probable, un canal de erupción rodeado del con-

glomerado y de andesitas verdes, una y otra roca cruzada por vetas argentíferas, ó es simplemente el resto de una gran corriente de rhyolita, como la separación en bancos y la estructura fluídea de la roca parecería demostrarlo. De todos modos, entre las rhyolitas macizas y las tobas rhyolíticas hay la más estrecha relación. Si las primeras vinieron como los productos de volcanes y se extendieron á manera de corrientes, las segundas representan los productos de la última fase volcánica de las rhyolitas, la forma explosiva de las erupciones.

La Bufa de Zacatecas.

Ejemplo excelente de una erupción por grieta, coronando una montaña y en la forma de una cresta aguda y acantilada, nos muestra la Bufa que se levanta en las orillas de la ciudad de Zacatecas, en el borde oriental de la cañada en donde se halla edificada la ciudad. Tales puntos de contacto muestra en su constitución y relaciones geológicas con las otras rocas de la localidad esta cresta y las Bufas de Guanajuato, que pudieran bien avenirse á la misma descripción. En efecto; la base de las Bufas de Zacatecas, como la generalidad de las montañas de esa región, está constituída por una roca verde, que tiene, como la de Guanajuato, los más variados aspectos, ocasionados por las condiciones originales de su erupción, por sensibles variaciones en la composición del magma de donde proceden, por los sucesivos estados de la alteración, y por último, por el metamorfismo engendrado por acciones dinámicas. De todo esto nace una dificultad bien grande para clasificar y definir en términos claros esta roca, que desde un estado enteramente apizarrado que la hace confundir con una roca sedimentaria, se pasa por todos los grados hasta el aspecto franco de una roca maciza de aspecto granítico ó porfiroide, á la que Humboldt llamó syenita. Muchas preparaciones microscópicas hemos hecho con el objeto de determinar el carácter original de estas rocas verdes, y encontramos que es posible asignarles una facies andesítica dominante que llega por el lado holocristalino á confundir sus caracteres con los de la diabasa y el gabro, en tanto que variedades ricas en materia de cristalización incipiente, dan variedades andesíticas ó porfiríticas, algunas tan completamente silicificadas que pueden confundirse con una litoidita, dura y exfoliada como una pizarra, ó rocas sin sílice abundante y terrosas, forma detrítica de estas rocas ó tobas andesíticas.

Estas rocas verdes, decimos, muy alteradas también por acciones atmosféricas, forman la base de las montañas de las Bufas de Zacatecas y sirven también de base á una serie muy denudada de capas de conglomerado rojo, y de areniscas en la parte superior, que no es tan poderosa como en Guana-



Rhyolita.—La Bufa de Zacatecas.—Vista del W.



Tip. y Lit. "La Europea"—22,910

Rhyolita.—La Bufa de Zacatecas.—Vista del Sur.

juato, pero que debe tener con aquella el legítimo parentesco que Humboldt[1] estableció valiéndose de las observaciones de Sonneschmidt y de Valencia. El conglomerado rojo con fragmentos de rocas graníticas, verdes, y de pizarra negra, tiene una orientación muy constante E.–W., y muestra, como su congénere el de Guanajuato, accidentes en su echado que indican grandes ondulaciones y rupturas que han facilitado poderosamente la erosión dejando solamente á media altura de los cerros de las Bufas, casi insignificantes porciones adheridas en los flancos con una inclinación de 15° al N., contra la pendiente de la montaña. Este conglomerado mioceno, como veremos después, es la roca que se halla en inmediato contacto con la roca de las Bufas, ó más bien con una masa detrítica rhyolítica que en tosca estratificación casi concordante con la del conglomerado, rodea en gran parte á la rhyolita maciza de las cimas.

Tres son los apófisis principales que pueden recibir en Zacatecas el nombre de Bufas, tres partes más salientes de una cresta orientada, N.W., S.E., que forma una especie de cornisa en el borde oriental de la cañada de Zacatecas. De estas masas rocallosas, la del medio es la más alta y á la única que dan el nombre de Bufa (lám. II); está á 220 metros poco más ó menos sobre la iglesia principal de la ciudad de Zacatecas y á 2650 metros sobre el nivel del mar.

Alturas mayores que la de la Bufa se encuentran en la serranía de Zacatecas, y dicha masa rocallosa está fuera del eje principal de este grupo montañoso. Las otras eminencias á un lado y otro de la Bufa son: al N.W. el risco en donde está edificado un templo, la iglesia de la Bufa, y al S.E. el *Crestón Chino*, una decena de metros solamente más bajo que la Bufa del medio. Estas tres partes forman un solo cordón rocalloso de cerca de 1,000 metros de largo, escarpado al W. y de pendiente moderada al E., formado de rhyolitas.

Tan angosta es esta faja rhyolítica comparada con su longitud, que bien pudiera considerarse como un dique, á no encontrar en algunas partes las huellas de una extravasación, sin que ésta haya tenido, por otra parte, la importancia de una corriente en el sentido general de la palabra.

Tan poco marcada es la estructura de escurrimiento en estas rocas, la posición casi vertical y la regularidad de los planos de agrietamiento, y el carácter microscópico en general, que pueden obligar fácilmente á la suposición de que esta roca, llenando una grieta como hemos dicho, ha tenido la fuerza suficiente para llegar á la superficie en estado viscoso, escurrir apenas en partes, y en otras quedarse acumulada arriba de la grieta de salida; pudo acabar de enfriar lentamente y por eso agrietarse con cierta regularidad según planos verticales.

Una débil erupción explosiva engendró la masa de tobas de 40 metros de potencia que yace junto al conglomerado rojo y que suele contener fragmentos de las rocas subyacentes.

1 Humboldt.—Ensayo Político sobre la Nueva España, cap. XI.

Muy pocas diferencias genéticas median entre las Bufas de Zacatecas y el cerro de Chichíndaro en Guanajuato, que ya hemos dicho tiene los caracteres de haber sido un punto de erupción, aunque el hecho no está comprobado. No menos analogías hay con las peñas del Aguila de Real del Monte.

La semejanza de los dos primeros macizos, aun por caracteres petrológicos, no es menos sorprendente y característica, y ello favorece aún más la hipótesis de la forma de erupción. En ambos lugares, las rhyolitas muy esferolíticas yacen en la base de los acantilados, ó para mejor decir, en las partes donde el enfriamiento de la roca debió de ser más lento. Las cimas de la Bufa y de Chichíndaro nos dan rhyolitas más vítreas, casi litoídicas, donde hubo una rápida consolidación final.

Aquellas rhyolitas, de colores rojo, violado y gris, son muy pobres en cristales de primera generación, notándose sólo fragmentos de hornblenda ferrífera desagregada y uno que otro cristal corroido de cuarzo. El magma es finamente feldsítico y no hay huellas de escurrimiento fluidal. El cuarzo secundario abunda á veces en la roca, y se encuentra en gruesas costras en los planos de juntura.

Numerosos apófisis de rhyolitas se encuentran en la sarranía de Zacatecas; casi siempre coronan las cimas de las montañas unas veces en forma de domas ó casquetes de origen análogo á las Bufas, otras veces como restos insignificantes de corrientes que la erosión ha suprimido; y finalmente, como diques. Sucede con frecuencia en aquella región minera que los crestones de las vetas metalíferas tienen la apariencia de simples diques de rhyolitas litoídicas.

Generalmente las litoiditas son blancas ó ligeramente rosadas y suelen pasar á rhyolitas propiamente dichas con algunos cristales de cuarzo y sanidino de primera consolidación. En muy pocos casos se descubre una clara estructura de fluidalidad, aun para aquellas masas de rhyolitas que pudieran haber cubierto á las rocas verdes en la forma de extensas corrientes.

La serranía de Zacatecas presenta topográficamente un enlace directo con la Sierra Madre occidental, sirviéndole de intermediario la Sierra de las Palomas y la Sierra Fría, en donde las erupciones rhyolíticas han desplegado ya una actividad comparable á la de las partes centrales y elevadas de la Sierra Madre. Dejamos, pues, la descripción de esta región para cuando tratemos especialmente de las rhyolitas del W. de México, no menos importante desde el punto de vista geológico y petrográfico.

La Bufa de Real del Monte (cerro del Aguila).

Con el típico nombre de bufa podremos distinguir las peñas rhyolíticas



Rhyolita.—La Bufa del Real del Monte.—Cerro del Aguila.



El Pico de Bernal.

Tip. y Lit. "La Europea"—22,910

del cerro del Aguila[1] en el Real del Monte, no sólo por ofrecer una forma característica saliente en aquella región, sino aún por hallarse en la proximidad de un centro minero, y por venir las rocas cubriendo é interrumpiendo á las rocas andesíticas en las que arman los criaderos minerales. Estos son los caracteres distintivos de lo que los españoles del siglo XVI llamaron bufa.

En nuestro estudio del "Real del Monte," hemos descrito también las tobas rhyolíticas que rodean á las rhyolitas macizas y que pueden compararse á las que yacen sobre las rhyolitas macizas de la serranía de Guanajuato. Las rocas silizosas, las feldsonevaditas del cerro del Aguila, no parecen haberse extendido en la forma de una gran corriente, sino más bien haber llenado una ancha grieta, como en el caso de las otras masas rhyolíticas que tienen la forma de bufas, principalmente la de Zacatecas.

La Bufa de Mascota.

Aunque es nuestro propósito estudiar en un capítulo aparte las condiciones generales bajo las cuales se presentan las rhyolitas en la Sierra Madre occidental mexicana, tenemos que citar aquí otras localidades importantes de rhyolitas, de dicha Sierra Madre, pero cuyas condiciones geológicas son en todo semejantes á las que caracterizan á las bufas, y aun muchas de ellas han recibido este nombre. Por ejemplo, la "Bufa de Mascota," alta montaña coronada de un grueso acantilado rhyolítico, que se levanta á más de 2,500 metros de altura sobre el mar, en las estribaciones occidentales de la importante Sierra de Mascota, que con rumbo N.–S. se alza escarpada desde las cortaduras del río de Ameca por el Norte, y que se prolonga por el Sur hasta juntarse con la Sierra de Cacoma, en frente de la parte más avanzada de las costas del Pacífico en el Estado de Jalisco.

La región montañosa que sirve de soporte á la Bufa de Mascota, situada más ó menos sobre el paralelo 21°.40 de latitud, es una de las más pintorescas del Estado de Jalisco, no sólo por su accidentación, pero aun por la abundante vegetación y por su altura sobre el mar. Es además importante desde el punto de vista mineral. La Bufa se halla situada en frente de la bahía de Banderas y como á 60 kil. del litoral. Las ramificaciones occidentales del macizo descienden rápidamente hacia las costas, permitiendo al observador, situado en la cima del acantilado rocalloso, el contemplar el magnífico panorama extendido á sus pies, hacia las costas del Pacífico. La prolongación meridional de la Bufa no es menos grandiosa cuando se penetra en las anfractuosidades de la Sierra, hacia las regiones mineras del Desmoronado y Bra-

1 Bol. del Inst. Geol. de Méx. "El Real del Monte," núm. 12, 1899.

mador, erizadas de picos graníticos que sobresalen de enmedio de la formación de pizarras cristalinas.

Siempre el carácter de las Bufas es el contraste de las formas, y una misma parece ser la cronología y naturaleza de las rocas subyacentes. Aquí como en las otras regiones con bufas, las rocas andesíticas verdes son la base de los macizos rhyolíticos. En los flancos del Norte de la Bufa de Mascota, las andesitas se extienden casi hasta las márgenes del río mencionado, y arman en ellas las vetas argentíferas que forman el grupo del mineral de los Reyes. Al N.W. de la misma Peña el grupo de vetas de San Sebastián, arman en estas andesitas fuertemente silicificadas para poder recibir el nombre de dacitas; y por último, al pie de la Bufa, existe un antiguo mineral, el Real Alto, con un poderoso filón que arma en dacitas que pasan á rhyolitas y á brechas rhyolíticas como las de la cima de la Bufa. De aquí resulta, pues, que este macizo rhyolítico no depende propiamente de una erupción completamente independiente de las andesitas subyacentes é inmediatas, sino que su naturaleza proviene de la diferenciación de un magma andesítico, y que se ha presentado al exterior en erupciones por grietas.

Es indudable que al fin de las emisiones de estas rocas hubo erupciones de carácter explosivo, con material, que acumulado en las crestas de las montañas, les dan hoy el aspecto de apófisis, á fuerza de un trabajo enérgico de erosión.

El estudio microscópico de las rocas de la región permite seguir fácilmente los cambios de aspecto de las andesitas. Estas, en el Mineral de los Reyes están muy alteradas en la proximidad de las vetas; las rocas allí á veces contienen sílice individualizada de origen secundario por penetración. Las alteraciones, aunque muy intensas, no hacen desaparecer enteramente el carácter microlítico andesítico del magma. A medida que se asciende hacia la Bufa, así como en el Mineral de San Sebastián, cerca de las vetas que se trabajan en las minas de "Quiteria," muestran un aspecto dacítico y aun pasan á brechas rhyolíticas; y en el Real Alto, al pie de la Bufa, dacitas muy cargadas de sílice y brechas rhyolíticas forman la caja de las vetas. Tobas rhyolíticas de color gris rojizo, brechas rhyolíticas conteniendo fragmentos de andesitas, y rhyolitas francas, forman el macizo de la Bufa, sin que pueda observarse una demarcación precisa entre estas rocas y las dacitas y andesitas, que son las rocas dominantes de esta parte de la Sierra de Mascota.

Las Bufas del Estado de Chihuahua.

En un gran número de distritos mineros de la Sierra Madre encontraremos las rhyolitas como en la Bufa de Mascota, sobre todo en el Territorio

de Tepic, y en los Estados de Durango, de Sinaloa y de Chihuahua. De este último Estado mencionaremos principalmente las Bufas del Septentrión, las del Mineral de Morelos, de Urique, las que coronan las cumbres de Jesús María, las de Guadalupe y Calvo, las de Pinos Altos, etc., sin contar los muros colosales rhyolíticos poco desprendidos de las extensas mesas y corrientes de rhyolitas de las que en otra parte nos ocupamos.

Estos ejemplos que acabamos de pasar en revista, son suficientes para demostrar que las rhyolitas ocupan en la serie de rocas neovolcánicas un lugar bien determinado, es decir, que hay una relación bien marcada entre ellas y las rocas que han hecho erupción con inmediata anterioridad y con las cuales están á veces íntimamente ligadas. Siempre son las rocas andesíticas y las dacitas las rocas inferiores, y casi frecuentemente unas y otras se encuentran en inmediato contacto ú ofrecen los intermediarios que resultan de su consanguinidad.

Por lo visto, muy larga é interesante sería nuestra enumeración si pudiésemos dar un cuadro completo de los sitios de México que nos presentan rhyolitas francas, tobas y brechas rhyolíticas que han hecho erupción por grietas, ó que venidas á la superficie en la forma de corrientes, la erosión sólo nos ha dejado girones escarpados, de poca extensión, que cubren á las andesias, á las dacitas; y éstas pasando insensiblemente á rhyolitas. Es curioso que estas rocas, sobre todo cuando tienen la primera forma de erupción, se hallan en la proximidad de regiones metalíferas. Ya dijimos que en Tepic, en Jalisco, Sinaloa y Chihuahua, á cada paso nos encontramos esta asociación que ha venido á ser un hecho verdaderamente característico en el país, en donde los criaderos argentíferos armando en rocas eruptivas andesíticas son tan numerosos.

Si comparamos las condiciones geológicas de estos yacimientos con muchos de los del Oeste de los Estados Unidos del Norte, principalmente de los Estados de Nevada, de Utah y de California, encontramos la más completa similitud, con esta sola diferencia: que en muchas regiones, las rocas andesíticas en las que descansan allá las rhyolitas, están á su vez apoyadas sobre variados sedimentos, frecuentemente paleozoicos que á nosotros nos son casi desconocidos en nuestras regiones mineras.

Warren Tower y Smith,[1] al describir la región minera de Tintic en Utah, citan rhyolitas y andesitas descansando sobre estratos carboníferos y establecen la consanguinidad entre las rhyolitas y las andesitas de esa localidad.

En Silver Cliff y Rosita Hills, las andesitas y rhyolitas vienen apoyadas en granito y gneiss, como se muestra en los mapas de Wh. Cross.[2]

1 Warren Tower y Smith.—Geology and Mining Industry of Tintic District of Utah.—Nineteenth Ann. Rep. U. S. Geol. Surv. 1897-98.

2 Wh. Cross—Geology of Silver Cliff and Rosita Hills-Seventeenth, Ann. Rep. U. S. Geol. Surv. 1895-96.

En el importante Distrito de Eureka, en territorio de Nevada, Hague[1] describe las rhyolitas y las andesitas yaciendo sobre depósitos carboníferos.

Las rocas sedimentarias en las que apoyan nuestras andesitas en las regiones mineras, no son más antiguas que del mezozoico (Guanajuato, Zacatecas, etc.), y muchas veces las rhyolitas suelen venir en las cimas denudadas de depósitos neocenos, exactamente como en la Sierra Nevada,[2] en algunos distritos mineros auríferos del Idaho, y como en la isla de San Clemente en las costas de California.[3]

Quizá podamos comparar el conglomerado rojo eoceno de los montes Wasacht, en el que descansan las rhyolitas en aquella región de Utah, con el conglomerado rojo y areniscas que vienen debajo de las rhyolitas de Guanajuato y Zacatecas, pues que tienen caracteres semejantes. Sin embargo, nuestros conglomerados son un poco más modernos que los de aquella región americana.

De todo esto se deduce que tan profusamente diseminadas como están las rhyolitas en una inmensa faja de la América del Norte y localmente tan aglomeradas, por decirlo así, en un sinnúmero de puntos de las Sierras mexicanas, hay que suponer, como dice Hague[4] al hablar de la Gran Cuenca, "como una unidad, toda la energía eruptiva que dió á luz este solo tipo de rocas."

Hay que pensar en un gran período rhyolítico terciario en el país, lo mismo que hablamos de una inundación basáltica post-pliocena en la parte meridional de la gran mesa mexicana.

Del estudio sucinto que acabamos de hacer de las Bufas mexicanas y de otras regiones con rhyolitas á las que morfológicamente se les puede aplicar el mismo nombre y la enumeración de regiones de Norte América muy semejantes desde varios puntos de vista también morfológicos, y más que eso genéticos, resultan las dos consecuencias importantes ya iniciadas y sobre las cuales desde hace tiempo se ha llamado la atención; la primera es la del lugar que ocupan las rhyolitas en la sucesión cronológica de las erupciones de rocas volcánicas, establecida más ó menos satisfactoriamente por Richthofen, por King, Iddings, Hague y otros, y que ha dado lugar á brillantes elucubraciones hipotéticas sobre la condición de los magmas internos de donde han emanado las rocas. La segunda es una relación más ó menos directa entre las erupciones de estas rocas rhyolíticas, los fenómenos fumarólicos conexos y la formación de las vetas minerales, relación supuesta por muchas autoridades y á la cual nosotros nos hemos siempre adaptado. Esta correlación, tan natural como á primera vista parece, en las regiones mineras con rocas rhyolíticas, hasta hoy no ha podido ser demostrada de una manera evidente.

---

1 A. Hague—Geology of Eureka District, Nevada. Mono. XX. U. S. Geol. Surv.

2 H. W. Turner—Rocks of the Sierra Nevada—Fourteenth Ann. Rep. U. S. Geol. Surv.

3 Sidney S. Smith—A Geological skecht of San Clemente Island—Eighteenth Ann. Rep. U. S. Geol. Surv. 1896-97.

4 Hague A.—Op. cit.



Una corriente de rhyolita.—La Trinidad.—Tequixquiapam.



Acantilados de rhyolita.—La Trinidad.—Tequixquiapam.

Tip. y Lit. "La Europea"—[illegible]910

III

LAS NAVAJAS.

—

Tomamos aquí el nombre de "Las Navajas" para toda la región S.E. de Pachuca, en donde abunda una variedad de rhyolitas litoides y las obsidianas. Hacemos uso de tal nombre porque es bien conocido de todos los petrógrafos desde que Humboldt habla en el "Ensayo Político" de los pórfidos de base de perlita y de las obsidianas del *cerro de las Navajas;* rocas que han sido posteriormente descritas con escrupulosidad por Tenne[1] haciendo uso de los mismos ejemplares colectados por aquel viajero, y que se conservan, al decir de Tenne, en el Museo Real de Berlin.

Pocas regiones de México nos presentan un grupo clásico de rocas ácidas donde se pueda percibir tan claramente las transformaciones á que dan lugar la desvitrificación de un magma rhyolítico y los cambios originados por las condiciones de enfriamiento de las rocas; pues desde un tipo litoídico de roca que es el dominante y muy uniforme, hay lugares en donde se pasa por una serie de transiciones al vidrio rhyolítico más perfecto, á una obsidiana desprovista de todo indicio de desvitrificación, como el mismo Tenne observa.

Por el momento no nos ocuparemos más que de dar una idea del aspecto de las montañas que colectivamente designamos como las Navajas, región que ofrece al viajero los más grandes atractivos, no sólo por la sinuosidad de los perfiles, sino aun por la exuberancia de la vegetación desplegada en los rincones de aquella parte de la serranía de Pachuca, levantada en general sobre llanuras secas cubiertas de los productos de recientes aparatos volcánicos que esporádicamente la rodean.[2]

1 C. A. Tenne—Ueber gesteine von cerro de las Navajas, México, Z. d. G. G. 1885, XXXVII, pág. 610-620.

2 La Sierra de Pachuca, sobre la Mesa Central Mexicana, orientada de N.W. á S.E., limita una buena parte de la región N.E. de la cuenca de México. Tiene aproximadamente 43 kil. de longitud y es muy importante desde el punto de vista mineral. Estudios de carácter geológico é industrial han sido publicados en algunos Boletines del Instituto Geológico.

El Mineral de Pachuca—Bol. del Inst. Geol. de Méx., núms. 7, 8 y 9.

El Real del Monte—Bol. del Inst. Geol. de Méx., núms. 11 y 12.

La región rhyolítica de la Sierra de Pachuca comienza, puede decirse, desde las cercanías del Real del Monte, en donde los cerros del Aguila, formados de rhyolitas, limitan el rico Distrito Minero. Desde aquí también el aspecto de las montañas cambia hacia el S.E., cuando los pórfidos metalíferos de Humboldt, las andesitas de piroxena en que arman las vetas, se pierden debajo de las tobas andesíticas que la erosión ha revestido de formas tan grotescas en las Peñas Cargadas, al pie sur del cerro del Aguila y en las peñas del Guajolote, un poco más allá, ó bajo las corrientes de rhyolitas con acantilados de estructura columnar que se extienden en una superficie de varios kil. cuadrados.

La Sierra de Pachuca consta en general de una arista sinuosa y elevada de la que se apartan contrafuertes y ramificaciones más ó menos importantes, pero que suelen llevar eminencias de mayor consideración que las del eje de la Sierra. Al S.E. del Real del Monte, dicho eje lleva entre otras de sus principales cimas, los cerros de los Ingleses, 3,500 metros, y el ya citado cerro de las Navajas, 3,212 metros, del que Humboldt habla con especialidad. De estas cimas elevadas, desnudas en su parte superior, se desprenden hacia el E. aristas transversales separadas por barrancas abruptas y profundas, revestidas de vegetación. Las aristas agudas se terminan las más veces por picos aislados ó domas rocallosos y por mesetas sostenidas por gruesos acantilados que apoyan en taludes de fuerte pendiente que van á morir á los valles donde toma nacimiento el cañón de Regla y la Barranca, que surcan á extensas mesetas basálticas.

De aquellos acantilados enormes y cornisas, que tan bien rompen la monotonía de las formas arredondeadas de las montañas inmediatas, citaremos las principales, que son: las peñas del Jacal (lám. V), á las que Humboldt asigna una altura de 3,124 metros sobre el nivel del mar; la Peña del Aguila, 3,300 metros, y por último, la meseta de Providencia que muestra un largo muro rocalloso de más de 60 metros de altura, levantado casi á pico.

No menos interesante que las formas del terreno son los aspectos de la estructura en masa de las rhyolitas litoides. Las montañas de formas arredondeadas como las Navajas y sus vecinas, ofrecen en sus partes desnudas de las cimas y en las crestas que las unen, una bien desarrollada estructura de escurrimiento producida durante el enfriamiento de la roca. Las bandas de escurrimiento, diferenciadas fácilmente por el distinto grado de compacidad del magma de la roca y por los diversos tonos de su color gris azulado, se encorvan y se contornean de muchos modos, ofreciendo á veces en un largo trnyecto una serie de ondas y sinuosidades desde muy pequeñas hasta de gandes dimensiones. Esto es particularmente visible en la aguda cresta que liga los altos cerros del espinazo de la Sierra con las peñas del Jacal, en donde las superficies de escurrimiento están inclinadas hacia la barranca, que muestra la sección transversal de dichas bandas. Allí donde las corrientes de la lava rhyolítica han caminado sobre una superficie que tiende más á la horizontal, dicha lava afecta en un gran espesor la estructura columnar casi



Peña del Jacal.



Columnas de Rhyolita.—Región de las Navajas.

Tip. y Lit. "La Europea."—33,435

perfecta que se observa en los grandes acantilados mencionados. Las columnas, adheridas las unas á las otras, tienen por lo general una sección que se aproxima más á la de un círculo que á la de un polígono, y de diámetro que varía de algunos decímetros á varios metros. Las bandas de fluidalidad de la roca, transversales á las generatrices, se acusan por superficies de división, ó bien por simples ensanchamientos de los troncos de columnas como partes más resistentes á la erosión y por consiguiente lugares más densos de las corrientes. Columnas aisladas de pocos metros de altura se encuentran á veces, y entonces puede apreciarse esta forma que reproducimos en la figura 2, lámina V.

No todas las corrientes tienen tal estructura columnar, y puede decirse que ésta es clara y completa en las corrientes superiores y en la parte superior de algunas de ellas. No siempre es posible deslindar cada corriente, aunque el espesor total del manto rhyolítico pueda estimarse de 350 á 400 metros.

Por más que exista una grande uniformidad en la roca litoide que domina en toda la región, no podemos pensar en una erupción por grietas como el medio por el cual estas rocas han venido á la superficie, caso único admisible para las rocas andesíticas subyacentes que forman la masa principal de la Sierra de Pachuca, y aun para las feldsonevaditas del cerro del Aguila en la vecindad del Real del Monte, y que son el resultado de la diferenciación del magma andesítico.[1]

Más modernas las rhyolitas de las Navajas que las feldsonevaditas del Real del Monte, aquellas no tienen aparentemente un parentesco magmático con las andesitas. La forma de sus erupciones parece que se adapta más á la de verdaderos volcanes, uno ó varios centros de erupción cuya situación no sería posible hoy identificar. Las graciosas peñas del Jacal y del Aguila, el espinazo de Providencia, etc., puntos prominentes, no son más que fracciones de corrientes que formaban una gran meseta de más de 3,500 metros de altura y que la erosión ha surcado dejando restos aislados.

Abajo de las rhyolitas litoides gris-azuladas que tienen estructura columnar (Jacal), ó bandas sinuosas de escurrimiento (Navajas), de las que tan buen estudio microscópico hizo Tenne, vienen rhyolitas también grises, muy esferolíticas, conteniendo á veces numerosas litofisas.

La regularidad de las corrientes de rhyolitas azuladas se modifica en algunos lugares, esencialmente cuando junto con este tipo de roca se manifiestan otras formas de desvitrificación; y en este caso, tales lugares podrían considerarse como próximos á centros de erupción. Así por ejemplo: en la base de un gran acantilado, no lejos de la peña del Jacal, encontramos las litoiditas gris-azuladas pasando insensiblemente á rhyolitas muy esferolíticas, como las de la base del cerro de las Navajas. En estas rocas, las esferolitas se ahuecan, la roca cambia de color en partes, dejando ver claramente numerosas

1 El Real del Monte—Bol. del Inst. Geol. de Méx., núm. 12, pág. 32, 1899.

litofisas. En los espacios en donde á despecho de la abundante vegetación, hay desnudas grandes superficies de la roca, se observa que en el sitio donde abundan más las litofisas la roca muestra numerosas entalladuras como canales por donde han debido escaparse vapores que han alterado más ó menos profundamente á las rocas. Dichos canales, de unos cuantos milímetros de diámetro hasta de algunos decímetros, dan á veces en su superficie una estructura que podría compararse á la de las litofisas. Otras veces, superficies muy cariadas de las rocas, indican también cavidades irregulares por donde los desprendimientos gaseosos se habrían verificado, disolviendo y arrastrando partes de la roca. Observamos en las paredes de algunas cavidades esféricas, una costra de ópalo hialino; estas cavidades fueron el sitio de grandes esferolitas.

Hemos visto también canales de desprendimientos gaseosos en las litoiditas sin esferolitas y que tienen una superficie aspera y fibrosa como la de la pómez, aunque dura y cuarzosa como la de los esqueletos de esferolitas.

Hay, pues, aquí para nosotros pruebas inequívocas de que el origen de las litofisas de que hablamos es en parte secundario y debido á una disolución de una parte de los silicatos de las esferolitas y del magma por vapores y aguas calientes de *las fumarolas*. También se observa que dichas litofisas son pobres en minerales cristalizados, pues no se encuentran más que cristales de cuarzo y tridymita. Desgraciadamente no hemos podido identificar los sitios de donde tomó Humboldt las muestras de obsidiana en las que descubrió Rose la fayalita y mencionó los otros minerales, pues tales litofisas pueden ser de formación anterior á la completa consolidación de la roca,[1] mientras que en el caso muy especial que nos ocupa, la formación de canales de escape de vapores que interceptan á veces á las grandes esferolitas, suponen ya un estado completo de consolidación de la roca. La formación de las litofisas siguió inmediatamente á la consolidación como lo supone en rocas americanas Wh. Cross.

Mr. T. P. Iddings, al hablar de las litofisas de Obsidian Cliff en el National Park, las supone formadas un poco antes de la consolidación definitiva de la roca, aludiendo pruebas de irrecusable justicia.

En casos en los que las rocas ofrecen alteración ó descomposición química, el mismo autor acepta la idea de que la formación de esferolitas ahuecadas (litofisas) proceden de un ataque por la acción solfatárica ó por aguas termales.[2] Hay en México rhyolitas con litofisas (Cerro Mercado, Durango; Tequixquiápam, etc.), que si presentan los caracteres de haber sido producidas antes de la completa consolidación, exactamente como en Obsidian Cliff, según lo habremos de mostrar en otra parte.

Las rhyolitas con litofisas de las Navajas dan al microscopio una estructura micro-esferolítica en casi todo el magma que las forma.

1 Un estudio más completo de las litofisas se encontrará en la descripción sistemática de las rhyolitas, segunda parte de este libro.

2 T. P. Iddings.—Nature and origin of Lithophysæ. Am. Jour. of Sc. XXXIII, January, 1887, pág. 40.

De gran importancia para el estudio del origen y época de formación de las litofisas es el hecho de que tales esferolitas ahuecadas sólo existen en la región de las Navajas en aquellos lugares en donde por la variedad de los productos volcánicos se presume la proximidad de un centro de erupción, y por lo tanto, la existencia de fumarolas. En las corrientes regulares de rhyolitas grises azuladas que han escurrido con cierta tranquilidad para dar una estructura columnar casi perfecta, jamás hemos encontrado en ellas las litofisas. En el grande acantilado, cerca de la Peña del Jacal, de donde proceden las rocas esferolíticas de que nos ocupamos, se pueden observar cambios que demuestran un estado tumultuoso de erupción, cambios muy bruscos en el aspecto de las rocas. En efecto, de las rhyolitas grises litoídicas se pasa sin transición á grandes tramos de rhyolitas esferolíticas con litofisas y canales de escape de vapores. Nuestros mejores ejemplares de litofisas proceden de la proximidad de estos canales. Entre estas rocas macizas se interponen á veces masas irregulares de tobas delesnables y también blocks enclavados de forma irregular, de una roca muy vítrea, de color pardo y con el lustre de la piedra pez ó de una perlita. Cintitas de litoidita azul alternan con masas de esta roca vítrea.

No muy distante de este lugar que muestra así tan bruscos cambios, encontramos grandes masas de la piedra pez en cuyos intersticios y en las grietas de contracción por enfriamiento se ven costras de azufre muy puro que han pretendido explotar aunque sin éxito. Del mismo modo se observa el azufre en las oquedades y grietas de las rocas cerca de las fumarolas frías en el fondo del cráter del Popocatepetl. Iddings encontró también pequeñas cantidades de azufre en los huecos de las rocas de Obsidian Cliff.[1]

No cabe, pues, duda de que en aquella región hubo una acción fumarólica prolongada; las superficies cariadas de las rocas, las esferolitas ahuecadas, los canales, la descoloración parcial de las rocas, etc., son fenómenos que dependen en gran parte de los desprendimientos de gases y vapores á través de la masa de las rocas. Iddings observa con razón que las esferolitas huecas causan la impresión de haber sido ahuecadas por un "agente corrosivo."

En la región de las Navajas abunda también la obsidiana como hemos dicho, aunque nunca se haya visto allá en grandes masas ó en corrientes. Los lugares en donde de preferencia se encuentra, son: la falda occidental de la Peña del Jacal y en la Barranca llamada del Milagro, cerca del cerro de las Navajas. La obsidiana se presenta en grandes masas arredondeadas empotradas en una especie de toba amarilla más ó menos consistente. Dichas masas de obsidiana se hallan envueltas por una costra formada de capitas concéntricas de un vidrio descolorido y semi-calcinado que pasa á veces hasta al color y la textura de la pómez, en donde se dejan ver impresiones esféricas ó los glóbulos esferolíticos que abundan en la roca. Viniendo la obsidiana solamente en los lugares donde existen la tobas y la calcinación que han

1 Op. cit.

sufrido en la periferia tales fragmentos de vidrio rhyolítico, prueban que han sido lanzados al exterior durante explosiones volcánicas quizá al fin de las erupciones ó de paroxismos, pues tales tobas cubren á las corrientes de rhyolitas gris-azuladas. Las masas de obsidiana pudieron haber llegado á la atmósfera, ya enteramente frías ó más ó menos en estado de viscosidad, como lo indican las formas contorneadas de algunos de los muchos fragmentos que se hallan por doquiera desparramados en aquellas montañas y que recuerdan por su aspecto el de las bombas volcánicas. Por lo tanto, la obsidiana, habiendo venido durante los últimos momentos de la acción volcánica de las Navajas, durante el período explosivo de erupciones, parece representar el residuo del magma que dió origen á las enormes corrientes de lavas rhyolíticas de la región; que tal residuo de magma, venido de partes profundas de un lacolito y subdividido durante las violentas explosiones ocasionadas por la tensión de gases y vapores y lanzados los fragmentos por la chimenea volcánica, han debido enfriarse tan rápidamente que no permitieron la segregación de elementos cristalinos, y sí, en muchos de los fragmentos, una abundancia extraordinaria de vesículas gaseosas en la masa de la roca. Estas burbujas gaseosas son tan abundantes en muchas de las bolas de obsidiana, que en los ejemplares que de ellas tomamos dan en su superficie un lustre especial, sedoso, debido á la reflexión de la luz sobre las innumerables y pequeñísimas burbujas.

La obsidiana de las Navajas tiene el aspecto clásico y el carácter más perfecto del vidrio rhyolítico, con su color en masa verde botella, transluciente en los bordes, textura concoide perfecta, etc. El microscopio hace ver que este vidrio presenta á veces la forma incipiente de cristalización y otras la limpidez absoluta del vidrio. Hay obsidianas con inclusiones triquíticas ó con globulitas; también hay obsidianas grises con numerosas longulitas alineadas fluidalmente y esferolitas y litofisas empotradas en el vidrio.

Independientemente de la región de las Navajas existen en la Sierra de Pachuca otros puntos en donde están las rhyolitas en la forma de corrientes. Citamos desde luego las que se encuentran entre la ciudad de Pachuca y el pueblo de Cerezo,[1] que han escurrido sobre andesitas verdes de piroxena. Las corrientes de lava rhyolítica se reconocen allí fácilmente. Esas corrientes se han ido depositando sucesivamente, de modo que hoy forman una serie escalonada. Estas rhyolitas, esferolíticas en su mayor parte y de color rosado, están cortadas por diques de rhyolitas con caracteres poco diferentes de la rhyolita en corrientes.

En el Mineral del Chico y cerca de los Organos de Actopam, también se presentan las rhyolitas, pero á veces como una modificación de andesitas cuarcíferas ó dacitas, silicificadas posteriormente.

---

1 El Mineral de Pachuca.—Bol. del Inst. Geol. de Méx., núms. 7, 8 y 9.

IV

OTRAS REGIONES RHYOLITICAS
DE LA MESA CENTRAL.

Como en la Sierra Madre occidental, en la Mesa Central existen también áreas muy extensas ocupadas por rocas ácidas pero bajo condiciones diversas de relieve. Bien sea por el grande espesor de los sedimentos post-pliocenos que rellenan á los valles, bien por la mayor importancia en superficie que en espesor, las corrientes de rhyolitas de la Mesa, no forman por sí solas grandes alturas relativas.

Extensiones tan considerables de rhyolitas sólo parecen tener por forma de erupción volcanes ó chimeneas que han permitido la salida á grandes masas de rocas muy fluidas, y por eso muy extendidas en delgadas corrientes sobrepuestas en número variable, pero muy surcadas y subdivididas á causa de la erosión por largo tiempo ejercida. Si en la Mesa Central las rocas basálticas y andesíticas, producto de una energía volcánica extraordinaria, nos ofrecen una cierta localización tal como se observa en su región meridional, dándole por eso un sello característico, ya dijimos que las rhyolitas hasta cierto punto tienen también un campo propio y una región que les es peculiar, aunque no con la misma persistencia que las rocas basálticas. Dichas áreas rhyolíticas más ó menos discontinuas, forman una zona encorvada que se enlaza al Occidente con las rhyolitas de la Sierra Madre, y termina por el Oriente en los contrafuertes de la Sierra Madre oriental, con las obsidianas esporádicamente diseminadas en los Estados de Puebla y Veracruz y que no todas podemos demarcar en nuestro mapa. La zona rhyolítica de la Mesa Central bordea á los grandes valles del Sur de dicha Mesa y se desparraman hasta la parte casi central. Las vemos, por lo tanto, en el Estado de Zacatecas, en el de Querétaro, de Guanajuato y en las sierras inmediatas á San Luis Potosí. La zona de rhyolitas toca por el Sur la región de los volcanes basálticos y andesíticos como en Acámbaro, Maravatío, cerca del Valle de Santiago, Huichapan, Pachuca, etc. Las lavas de estos volcanes han escurrido en muchos puntos sobre campos de rhyolitas y de tobas como en León, en la cañada de Hércules en Querétaro ó en las cercanías de Tequixquiapam.

Esta región de Tequixquiapam es la que hemos escogido para mostrar el aspecto general de las áreas rhyolíticas centrales de México y que tiene el doble interés de ser muy extensa y típica. Además, las rhyolitas de este Distrito contienen englobados en su masa los ópalos más finos mexicanos, que han tenido en estos últimos años buena aceptación en los mercados americanos.

Las rhyolitas de Tequixquiápam se extienden desde las colinas que limitan al E. el valle amplio de San Juan del Río hasta algunos kilómetros al Oriente de la ciudad de Cadereyta, en el propio Estado de Querétaro. El río que pasa cerca de San Juan, labra desde aquí su cauce hacia el Oriente sobre estas rocas, las que abandona cuando comienza á hundirse en las escabrosidades de la Sierra Gorda, al Sureste de Cadereyta, en donde las aguas, cavando su lecho en calizas y pizarras cretáceas plegadas, han producido las profundas cortaduras y cañones que se admiran entre Cadereyta y Zimapán.

Poderosas corrientes de lavas andesíticas casi recientes, acumuladas unas sobre otras cerca de sus centros de erupción, han formado los cerros de Santa Rosa que se levantan al Sur del valle de Tequixquiápam, apoyando sus lavas sobre las rhyolitas. Justamente en esta población desemboca un ancho valle tributario del río de San Juan, valle poco profundo bordeado por colinas en forma de mesetas, de las que á veces sobresalen tetillas, especie de "necks" rhyolíticos. Valles amplios limitados por bajos lomeríos en mesetas, son frecuentes en las áreas rhyolíticas de la Mesa Central. El límite septentrional ó el origen de aquel valle es una cresta que separa las vertientes del río de San Juan de las del río de Tolimán, y que lleva como accidente principal, una de las elegantes cimas de la Mesa Central, el Pico de Bernal, lám. III, hermoso cono traquítico, desnudo, rocalloso y acantilado, casi inaccesible, de 350 metros de altura sobre el valle y que se destaca aislado cuando se observa desde lejos, como desde las llanuras de San Juan ó desde Tequixquiápam.

Las rhyolitas de las colinas de ambos lados del valle se prolongan hasta la llanura del fondo; lo mismo pasa en el terreno poco rugoso de Cadereyta; y en partes estas rocas no son cubiertas sino por una delgada capa de tierra vegetal muy fértil á causa del excelente drenaje que permiten las rocas duras extendidas en tan débil pendiente y los numerosos diques y represas allí ejecutadas para aprovechar las aguas de circulación.

De las colinas llama la atención su débil pendiente y las cornisas acantiladas que sostienen sus mesetas; pronto se adivina que son restos de corrientes, en tanto que los necks ó las tetillas parecen puntos de erupción, y por lo tanto que la denudación es el agente determinante del aspecto general de aquel terreno, comparable por su forma local á los valles grandes, secos y áridos, tributarios del río Bravo del Norte.

El estudio de las corrientes rhyolíticas de Tequixquiapam tiene un gran interés por los cambios de estructura que las rocas presentan en diferentes partes en el sentido del espesor, de tal modo que se puede distinguir cada una de las corrientes sobrepuestas y hacerse cargo de su espesor individualmen-

te, el que no es en general considerable, pues que no pasa de 60 á 70 metros. En las faldas de las colinas, al Occidente de Tequixquiapam, vemos el corte de una corriente formando una cornisa ó acantilado (lám. IV), en donde las rhyolitas tienen una estructura imperfectamente columnar, que es más claramente manifiesta en la figura 2 de la misma lámina, tomada en los flancos de una barranca que desemboca en el valle cerca de la ranchería llamada de la Trinidad, por donde va el camino que conduce á algunas de las minas de ópalo pertenecientes á la hacienda de la Llave. Una sola corriente de rhyolita fraccionada por erosión cubre la cima de estas colinas y descansa sobre otra corriente mucho más extensa y que abarca una vasta superficie del valle de Tequixquiápam. En la base de aquella corriente que reviste la estructura semicolumnar de que hablamos, las rocas, de color gris azulado tienen un aspecto litoide, son compactas por lo tanto y se hallan divididas en lajas delgadas con oquedades alargadas horizontalmente como indicando zonas sucesivas de enfriamiento á la vez que la acción del escurrimiento fluidal. A medida que se asciende hacia la superficie de la corriente, la roca es menos litoide, las bandas de escurrimiento son más claras y las oquedades de la roca distribuídas con más irregularidad, son muy abundantes hasta el grado de hacer á veces esponjosa á la roca y mostrar entonces estas cavidades las particularidades de las litofisas, en las cuales se puede descubrir la estructura esferolítica original de parte de las rocas corroídas por la acción de los gases desprendidos durante *el enfriamiento final de la roca.* Pero es de notar que tales desprendimientos gaseosos no sólo se han verificado en la masa de las esferolitas destruyendo y suprimiendo una parte de su tejido, sino que escapándose los gases á través de la masa de la roca, han seguido de preferencia las zonas de enfriamiento y escurrimiento horizontales. Desgraciadamente este aspecto no es bien visible en nuestra lámina. La menor resistencia á la salida de los gases cerca de la superficie de la corriente, hace aparecer á la roca enteramente acribillada de oquedades exactamente de igual manera que en las lavas basálticas actuales. Las cavidades y las litofisas están cubiertas de un fino tapiz de cuarzo cristalizado, á veces ametista, de tridymita, de sanidino raras veces, y de agujas tenues de un mineral que parece ser hornblenda. Es también dentro de estas cavidades y rendijas en donde se encuentra el ópalo en todas sus variedades, llenando completamente la cavidad ó aislándose dentro de ellas en la forma de esférulos ó de cuerpos elipsoidales que tienen á veces el tamaño de un huevo de paloma.

De las variedades del ópalo encontramos con más abundancia el ópalo rojo (ópalo de fuego), el ópalo amarillo y el blanco lechoso con pocos reflejos. El ópalo fino, de brillantes visos, más vítreo, raras veces se aisla en esférulos y casi siempre llena completamente la cavidad. La forma que reviste el ópalo en las cavidades muestra que su origen es enteramente secundario, es decir, formado después de la consolidación completa de las rocas y proviene de la parte de materia disuelta tomada de las mismas rocas por aguas termales.

Examinando con detenimiento las distintas formas de las cavidades en donde viene el ópalo, encontramos que unas veces son simples grietas paralelas á las bandas de escurrimiento de la lava, viéndose entonces el ópalo diseminado en regueros; otras veces las cavidades esféricas fueron espacios ocupados por esferolitas que han sido más ó menos completamente suprimidas ó disueltas y en la que la superficie de la cavidad se ve unas veces cariada y otras lisa y sin ningún mineral cristalizado; y por último, cavidades también esféricas conservan aún el tejido y tapiz de las litofisas pero enclavadas en la masa del ópalo. Creemos, pues, que el ópalo, como producto secundario, ha sido depositado indudablemente por aguas circulantes calientes que penetrando en todos los intersticios de las rocas, no sólo depositaban la sílice en las oquedades, sino que aun produciendo una descomposición de los feldespatos diseminados en la masa y parte de su magma, depositaban en cambio la sílice que lo impregna y que produce una silicificación muy clara en estas rocas, y á veces una transformación más ó menos avanzada hacia el semi–ópalo.

Desgraciadamente no conocemos ningún trabajo monográfico sobre el ópalo que nos diese más luces sobre su modo de formación y otras particularidades.[1]

El aspecto microscópico de las rocas en las diversas corrientes que se extienden en las cercanías de Tequixquiápam, varía en muy amplios límites aun para partes diversas de cada corriente.

En la base de cada corriente, como dijimos, se encuentran rocas litoides en las que el microscopio revela en el magma no sólo la presencia de la microfeldsita, sino aun numerosas microlitas de oligoclasa, granos microlíticos de un mineral ferromagnésico alterado y puntuaciones de oxídulo de fierro. No debe, pues, esta roca ser considerada como una verdadera rhyolita, sino en tanto que á medida que se asciende á la parte superior de la corriente, cambia poco á poco hasta no tener más que un carácter netamente feldsítico. Ejemplos de estos cambios paulatinos de naturaleza y carácter del magma son frecuentes. Un caso muy parecido al de que hablamos, es el que se cita de la región de Nevada en Pine Nut Cañon, al Sur de Granite Mountain (Geol. Expl. Fortieth Paralel).

En cuanto á las rocas inmediatas á la superficie de dichas corrientes, el magma feldsítico se carga en grados diferentes de esferolitas de cruz negra, á veces hasta no formar sino una estructura enteramente micro–esferolítica. Las numerosas cavidades de la roca se ven tapizadas de cuarzo cristalizado y de ópalo, que presenta al microscopio y á la luz natural un color amarillo claro. No escasea en estas mismas cavidades un tapiz de calcedonia. En las rocas rojizas ó rosadas, en las que viene el ópalo fino, las bandas fluidales

1 La Mineralogía de J. D. Dana menciona un estudio de Behrends, en el que se refutan las teorías que explican los visos del ópalo fino, dadas anteriormente por Brewster. Behrends atribuye los visos á una laminación particular del ópalo que origina cambios en el poder de refracción en la masa del ópalo.

suelen marcarse muy claramente, desviándose en lugares donde se desarrollan las grandes esferolitas, así como cuando tales regueros fluidales de partículas opacas tropiezan con pequeños cristales de sanidino de primera consolidación, que casi siempre existen en estas rocas de la superficie.

Puede decirse que el mismo aspecto y carácter nos presentan todas las corrientes de rhyolitas de la grande área rhyolítica de Tequixquiapam y Cadereyta. Siempre en la cima de las corrientes las rocas abundan en esferolitas y en litofisas, magma feldsítico ó micro-esferolítico, como puede descubrirse en las rocas que cubren todo el fondo del valle entre Tequixquiápam y Bernal y que asoman en algunos lugares dejando ver además en las rhyolitas rosadas, intercalaciones de una roca negra vítrea, análoga á la piedra pez, con numerosas esferolitas fácilmente separables de la roca vítrea en glóbulos aislados de color blanco. Cerca de la hacienda de Tequixquiapam encontramos un lecho de esta roca dividido en bandas ó capas horizontales, dirección según la cual se orientan también los regueros de esferolitas.

De las colinas de poca altura que se levantan enmedio del valle mencionado, citaremos especialmente una que se halla al E. y frente á la hacienda de Santillán, en donde se ven bancos de rhyolitas subdivididos en columnas imperfectas. Estas rhyolitas con abundantes litofisas tienen á veces cavidades irregulares tapizadas de cristales hasta de 0.01 de longitud de cuarzo ametista en las formas comunes. Es curioso este ejemplo porque no es frecuente encontrar la ametista en las rhyolitas.

En el estudio sistemático de las rhyolitas, en la segunda parte de este libro damos una más completa descripción de la clase interesante de rhyolitas conteniendo ópalo fino.

La área que comprenden las rhyolitas de esta región se puede estimar en más de 200 kil. cuadrados. El ópalo fino siempre se encuentra en la superficie de las corrientes de lava rhyolítica y desaparece á unos cuantos metros de profundidad. En la región N.W. de esta área rhyolítica, en la falda de unas colinas, se encuentran las célebres minas de ópalo de la hacienda de Esperanza que han dado ópalos muy finos y de gran tamaño. Actualmente se extraen ópalos de tres ó cuatro lugares diferentes. La demanda de esta piedra preciosa está sujeta á muchas fluctuaciones y es quizá por eso que no se han hecho exploraciones serias ni se ha seguido un plan ordenado de trabajos. Es de esperarse, según hemos comprobado en el terreno, que en mejores condiciones de demanda, se encontrarán nuevos lugares de producción y que seguirá siendo por mucho tiempo la región de Tequixquiapam uno de los principales centros productores del ópalo noble de México.

Las rhyolitas de Tequixquiapam se hallan en contacto al E. con las calizas y pizarras cretáceas en los flancos y primeros estribos de la Sierra Gorda al N.E. de Cadereyta; cubren á las rocas traquíticas, según dijimos, en la base del Pico de Bernal y desaparecen al W. y S. debajo de las numerosas corrientes de lavas andesíticas y tobas de la hacienda de Santa Rosa y de los lomeríos que circundan el valle de San Juan del Río.

La región rhyolítica del Estado de Querétaro de que acabamos de hablar, se ha mostrado como un ejemplo del aspecto que ofrecen de una manera general las rhyolitas en la forma de extensas corrientes que abundan en la faja de la Mesa Central que comprende parte de los Estados de Michoacán, Guanajuato, Aguascalientes, Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí. En todas estas regiones las rhyolitas en grandes corrientes toman la forma de grandes mesetas de baja altura, cuya base se pierde en depósitos cuaternarios lacustres ó debajo gruesas capas de tobas volcánicas á dichas rocas casi siempre asociadas. Las margas y las arcillas pliocénicas no escasean entre estos depósitos posteriores á las erupciones de rhyolitas, ni tampoco las tobas calizas más ó menos arcillosas, producto de una sedimentación en el fondo de aguas termales en relación con erupciones recientes de lavas basálticas y andesíticas.

Tan uniformes parecen en su aspecto topográfico las regiones rhyolíticas á que aludimos y sus relaciones con las otras rocas tan semejantes, que bien puede suponerse que han sido todas el producto de una sola época de erupciones, una sola faz de las manifestaciones terciarias volcánicas.

Casi ligada con la región de Tequixquiapam se encuentra otra porción no menos abundante en rhyolitas, aunque no tan uniformemente extendidas en toda la superficie; ésta se extiende desde la ciudad de Querétaro, en donde gruesas capas de tobas rhyolíticas rosadas, usadas como material de construcción, rodean un pequeño núcleo de rhyolitas macizas; hacia el W. se extienden hasta cerca de Apaseo el Alto, al pie de una sierra coronada por mesetas y acantilados de una roca perlítica, en cuya masa abundan esferolitas rojas en regueros paralelos á los planos de escurrimiento de la roca. Hacia el Norte la zona rhyolítica se extiende sobre San Miguel de Allende en el extremo S.E. de la sierra de Guanajuato, en donde están apoyadas sobre andesitas verdes semejantes á las del centro de dicha sierra. Al partir de esta región hacia el Norte, las rhyolitas presentan una fase algo distinta petrográficamente, porque tales rocas, en lugar de pertenecer al tipo franco de rhyolitas propiamente dichas, que es el dominante en las regiones antes mencionadas, se aproximan con frecuencia más al tipo de las feldsonevaditas. Geológicamente se distinguen también porque raras veces se asocian á rocas eruptivas, casi siempre se hallan en contacto ó coronan á las calizas y pizarras cretáceas y forman apófisis importantes ó corrientes denudadas en las cimas de montañas constituídas por aquellos sedimentos más ó menos fuertemente plegados. Citaremos como ejemplos de este caso las feldsonevaditas y retinitas del Mineral de Pozos, en el Estado de Guanajuato, y las crestas y coronas de la misma roca en los cerros de San Pedro, cerca de la ciudad de San Luis Potosí. En esta región, rhyolitas en poderosas corrientes forman una buena parte de las sierras de Bocas y San Luis, en cuyas tobas abunda el estaño mezclado á la hematita, como sucede en varios puntos de la Sierra Madre occidental. Excelentes rhyolitas de la sierra de Canoas contienen magníficos cristales de topacio.

Otro tipo de corrientes rhyolíticas en bajas mesetas se extiende desde el

borde septentrional del Bajío en la ciudad de León y comprende parte de las mesetas de Lagos y la Encarnación, y cubre parte de las llanuras de Calpulálpam. Las lavas basálticas recientes y tobas cubren buena parte de esta extensa faja de rhyolitas.

Corrientes de rhyolitas vítreas axiolíticas se intercalan en las margas pliocenas de Yahualica y Teocaltiche, y en una corriente de rhyolitas vítreas muy importante ha cavado su lecho el río de Tololotlán, cerca de la ciudad de Guadalajara.

En la parte septentrional de la Mesa Central, las rhyolitas, apoyadas en calizas, se encuentran en pequeñas corrientes destruídas ó llenando angostas grietas; un doma rhyolítico corona el cerro de la Tinaja, al pie N. de la Sierra de Zacatecas, y en las mismas condiciones encontramos las rhyolitas en las montañas de Sierra Mojada, en Mapimí, etc.

Sólo nos resta mencionar otras localidades en la parte meridional de la Mesa Central, en donde existen pequeñas áreas de rhyolitas muy importantes desde el punto de vista petrográfico. Tales son el Xicuco, pequeño cerro cónico á 10 kilómetros al E. de Tula, en la llanura de Tlahuelipa. Allí se ven bancos de retinita con estructura columnar alternar con bancos de brechas y de tobas. En las inmediaciones de Tula, debajo de lavas basálticas y de tobas, aparecen en distintos lugares unas rhyolitas muy compactas de diversos colores con excelente estructura en bandas de fluidalidad, en las que las diversas coloraciones de las bandas dan á las rocas el aspecto del jaspe. Cerca de Maravatío existen pequeñas superficies en donde aparecen reventazones de obsidiana de muy variados tintes; desde la negra y vidriosa como la de las Navajas, hasta roja, amarilla manchada de negro como la de Yellowstone-Park. Por último, reventazones de obsidianas negras con cavidades gaseosas ó con varias formas de cristalitas abundan en las cercanías de la Villa de Libres; en Teziutlán, en el Estado de Puebla, en Zacualtipán en el Estado de Hidalgo, y en varios puntos de Veracruz, ya sobre la Sierra Madre oriental.

V

LAS RHYOLITAS DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

Por grandes que sean los espacios ocupados por las rhyolitas en la Mesa Central como acabamos de ver, pueden considerarse pequeños comparados con las superficies que abarcan estas rocas en el W. de México, en donde hemos dicho ya que tienen una extensión predominante y que en muchos lugares de aquella región los últimos acontecimientos orogénicos están con ellas íntimamente ligados.

Lo que se llama comunmente en México Sierra Madre Occidental no ha tenido una demarcación precisa en lo que respecta á sus límites meridionales, porque ligados los elementos del relieve del W. de México con la parte extraordinariamente rugosa del Sur, sin una solución clara de continuidad, no es posible topográficamente tal individualización. Sin embargo, para el objeto que nos proponemos y siguiendo la costumbre más generalmente aceptada, consideraremos como Sierra Madre Occidental á la continuada serie de montañas comprendida desde las fronteras de los Estados Unidos hasta la cortadura del gran río de las Balsas sobre el Paralelo 17°30. Nuestra Sierra Madre comprende, pues, cerca de catorce grados y medio geográficos y algo más de 1,700 kilómetros de longitud.

Antes de abordar el asunto principal de este capítulo, nos vemos precisados á dar una rápida hojeada sobre el aspecto físico general de tan vasta región montañosa, que abarca por sí sola casi la sexta parte de la superficie total de la República. Y decimos que nos vemos precisados á ocuparnos someramente de sus caracteres generales, porque poco se ha dicho de conjunto sobre ella y resulta por lo tanto una especie de curiosidad para algunos, en tanto que otros deploran la falta de datos de esta parte tan importante del relieve general de la América del Norte. A decir verdad, la Sierra Madre Occidental ha sido por todas partes recorrida, puesto que no presenta ningunas dificultades su trayecto; y no sólo por los antiguos caminos que hacen el servicio postal y comercial de las poblaciones de la Mesa Central con las costas y los puertos del Pacífico, sino también por los lugares incultos, bosco-

sos y poco poblados, á donde han penetrado muchos en busca de las riquezas minerales encerradas en aquellas montañas, lo que ha motivado la implantación de muchos capitales y de brazos.

Desgraciadamente no han sido recogidos todavía y expuestos en una forma general, todos los datos referentes á las exploraciones y estudios que se han hecho de muchos de los distritos mineros de la Sierra, en los que ciertamente se ha descuidado mucho la orografía y la geología de esas regiones; ni se han puesto en relieve las múltiples bellezas naturales de las sierras, ni la multitud de problemas interesantes que debe presentar ese inmenso conjunto de montañas.

No hace aún muchos años, las regiones septentrionales de la Sierra no podían ser recorridas más que por los caminos frecuentados á causa de las numerosas tribus de indios belicosos y rebeldes que allá merodeaban dedicados al pillaje. Se recuerdan, no sin pena, las tristes escenas que con frecuencia tenían lugar en los pueblos de la Sierra ó en los bordes de la Mesa Central, entre los agricultores y mineros pacíficos y las tribus indomables. Más tarde, en la parte meridional de la Sierra Madre, las montañas servían de asilo á numerosas partidas de facciosos y descontentos que allí se ocultaban del Gobierno ocupando posiciones estratégicas naturales durante las guerras de invasión ó en las luchas intestinas que asolaron al país por más de medio siglo. Hoy las cosas han cambiado totalmente; regiones hay que se pueblan prontamente de mineros; en los lugares desiertos viven aún algunos indios, la mayor parte labradores pacíficos y hospitalarios, que conservan en sus costumbres algunos rasgos de su vida primitiva.

Exceptuando la región norte de la Sierra Madre casi sobre la frontera americana, en donde el desmembramiento de las sierras permite un poco el tránsito de toda clase de vehículos, dicha Sierra no tiene pasos naturales que comuniquen fácilmente á la Mesa Central con las costas del Pacífico. Sólo hay dos caminos que pueden llamarse carreteros: el de Guadalajara á San Blas y el de Guadalajara á Manzanillo, rutas que atraviesan las regiones de menor relieve de la Sierra Madre y que se muestran con la más grande sencilléz tectónica aparente, pues que un manto de productos volcánicos recientes cubre una gran superficie. Angostas veredas y caminos de herradura forman una intrincada red por todas partes, y no hay puntos que puedan considerarse inaccesibles.

Mucho se ha hablado de proyectos de caminos de fierro entre la Mesa Central y las costas del Pacífico, pero hasta hoy ninguno ha sido llevado á cabo, habiendo sí, la esperanza de que en pocos años México cuente con dos ó tres buenas vías, como las que en la actualidad se construyen, y que tocarán los puertos de Manzanillo ó San Blas, Mazatlán ó Topolobampo y que atravesarán ricas regiones mineras de Chihuahua, de Durango y Sinaloa y partes montañosas del Estado de Jalisco.

En la frontera del Norte, sobre la línea divisoria con los Estados Unidos, la Sierra Madre no tiene aun su completa individualidad, es decir, que están

algo diseminadas las sierras, separadas por amplios valles y casi puede decirse que esa parte tiende á afectar la forma y caracteres de los desiertos de la parte Sur de Arizona y Nuevo México, y de las sierras que esparcidas con muy diversa dirección, quedan dentro de la cuenca del río Gila. Poco á poco las sierras componentes se aproximan las unas de las otras, separadas solamente por angostos valles ó cañones como los que sirven de cauce á los ríos de Ures, el Yaqui, el Fuerte, etc.; primero con direcciones un poco variables, y después, hácia el Sur, regularizándose más y más la dirección hasta adquirir la orientación N.W.-S.E. que caracteriza á los elementos montañosos constitutivos de la parte meridional de la mencionada Sierra Madre.

Si topográficamente la Sierra Madre Mexicana es un conjunto de sierras ordenadas paralelamente entre sí y ligadas más ó menos á manera de tener en conjunto, individualidad característica, geológicamente es un grupo de sistemas de montañas en la acepción que á estos términos da J. Dana;[1] es decir, á conjuntos de sierras del mismo período y origen; pertenecen á una región común de elevación y son generalmente paralelas y consecutivas.

Aunque el principio de la Sierra Madre por el Norte puede tener algunas semejanzas con la porción meridional del Oeste de los Estados Unidos ó con las sierras de la Gran Cuenca de Nevada, llega un lugar en donde las condiciones topográficas se apartan bastante, acreditando así la individualidad que pretendemos darle á nuestra faja montañosa occidental. Primeramente notamos la grande aglomeración de las sierras en sucesión inmediata, después un modelado muy simple de los macizos integrantes y por último una elevación general absoluta y aun relativa menor. Geológicamente las regiones que nos ocupan son comparables solamente en la semejanza y parentezco de sus productos volcánicos terciarios, pues que en una y otras partes abundan las dioritas y granulitas terciarias, y más que éstas, las andesitas de todas clases, las rhyolitas y lavas más recientes en parecidas cantidades y casi iguales espesores; pero en cuanto á la abundancia y edad de los sedimentos, las cosas son distintas. Grandes tramos de la Sierra Madre no muestran en la superficie más que las mencionadas rocas eruptivas, ó con pequeños girones de calizas y pizarras cretáceas, muy poco del jurásico y del trías y menos aún de formaciones paleozoicas; mientras que en la mayoría de los sistemas montañosos del Oeste de los Estados Unidos, los numerosos afloramientos de rocas sedimentarias de todas las edades han permitido la hábil interpretación de la manera de obrar de las fuerzas puestas en juego para producir las grandes fracturas por donde han visto la luz masas inmensas de rocas ígneas.

A más de la menor elevación absoluta de las cimas culminantes que parece tener por origen una disminución de la energía orogénica durante las épocas de movimientos continentales en la América del Norte, debemos agregar que el trabajo final de la erosión, del que dependen en parte las formas actuales de nuestras sierras, parece también muy inferior, porque el agente principal de

1 J. D. Dana.—Manual of Geology, pág. 389.—1895.

actividad erosiva en el Norte, no se ha presentado acá; es decir, el trabajo verificado durante el largo período glacial. En efecto, esa acción denudadora desgarra y afila las crestas, se forman numerosos picos, se modifica grandemente el curso de las corrientes y la accidentación por este solo trabajo de los hielos es mucho más variada y enérgica. En la Sierra Madre occidental, las formas son por regla general arredondeadas, las cimas regularizadas, las pendientes uniformes, y en general, formas que resultan de una acción erosiva lenta y prolongada. Hay ciertamente barrancas muy profundas, algunos picos aislados y regiones muy circunscritas con formas alpinas, pero esto sólo pasa allí donde las rocas presentan por sí solas condiciones favorables por su modo de depósito á tales formas escarpadas.

Si seguimos una línea que partiendo de la Mesa Central en un lugar determinado cortase normalmente la Sierra Madre occidental hasta las costas del Pacífico, veríamos que unas veces las Sierras componentes, al partir de una línea principal de elevación, forman una serie de aristas á ambos lados, sucesivamente escalonadas, paralelas, más y más bajas á medida que se aproximan á la costa ó á la Mesa; otras veces aristas bajas, verdaderamente lomeríos, se hallan en la base de la arista principal á la que siguen una serie de crestas que decrecen regularmente en altura hacia el mar. En ambos casos pocas aguas correrán hacia la Mesa Central, el camino más fácil será el del principal declive que es el de las costas. Sucede con frecuencia que numerosas y profundas cortaduras interrumpen las sierras y por allí se lanzan las aguas á la costa; en otras la interrupción proviene de un cambio de paralelismo entre los elementos orográficos, lo que coincide á veces con un cambio en la naturaleza geológica. Así se facilita el curso de las aguas de la Mesa Central hacia el Oeste, como por ejemplo una parte del cauce del río de Santiago, del río de Ameca, del de San Pedro y otros.

Pasa aquí lo que en algunas partes del Oeste de los Estados Unidos, que tales cambios bruscos de dirección de las sierras originan importantes fenómenos volcánicos. Estos cambios explicarían la abundancia de aparatos volcánicos en ciertas partes de Tepic y de Jalisco, que mantuvieron por mucho tiempo viva la energía volcánica.

Las alturas principales de la Sierra Madre raras veces alcanzan tres mil metros sobre el mar, la cifra de dos mil doscientos metros puede considerarse como el término medio de la altura de las crestas principales. Por ejemplo, en el Estado de Chihuahua, la Bufa de Cosihuiriáchic tiene 2,415 metros sobre el mar; la Bufa de Jesús María en el Distrito de Rayón, 2,540 metros; y éstas son de las cimas más elevadas de la Sierra Madre en el Norte. Más al Sur, en el Estado de Durango, al Oeste de la ciudad de ese nombre, sobre el camino de Durango á Mazatlán, algunas crestas llegan á 2,600 metros; el cerro de Piloncillos tiene 2,560 metros. En el Estado de Sinaloa las mayores cimas sólo tienen hasta 2,400 metros de altura, y en el Territorio de Tepic, en la región del Nayarit, muy rugosa y escarpada, las cimas tienen hasta 2,300 metros de altura. Se necesita llegar á la región volcánica del Sur de

Tepic y del Estado de Jalisco para encontrar cimas que toquen la región de las nieves perpetuas, como el volcán Nevado de Colima con 4,300 metros próximamente. La Bufa de Mascota, masa rhyolítica, enfrente de una meseta volcánica, solo tiene 2,713 metros sobre el mar.

En lugares que casi pertenecen á la Sierra Madre en el Estado de Michoacán, hay también varios picos volcánicos elevados, como el Pico de Quinceo, cerca del borde de la Mesa Central enfrente del valle de Morelia, con 3,324 metros; el Zirate, 3,340; y el Pico de Tancítaro sobre el valle de Uruápam se aproxima á los 3,800 metros sobre el nivel del mar.

Un cuadro que contuviese todas las principales cimas de la Sierra Madre, mostraría fácilmente que las alturas mayores se agrupan generalmente en la región donde han tenido influencia los fenómenos volcánicos recientes de la Mesa Central, es decir, en sus partes meridionales.

Comparando finalmente la altura media de las crestas de las sierras con la altura media de la Mesa Central, resulta que aquellas no vienen á ser más que los poderosos estribos que sostienen nuestra gran plataforma continental, pues que muchas de las crestas sólo tienen una altura comparable á la de dicha Mesa. En muchos lugares la importancia del relieve aparente de las sierras está en relación con la manera según la cual éstas se ligan á aquella. Las muchas ramificaciones que á veces envían las sierras hacia el Este, las depresiones que entre ellas se originan y los macizos montañosos desparramados en el interior de la Mesa, no permiten á veces distinguir con precisión los límites de la Sierra Madre y de la Mesa Central, lo que hace por lo tanto á veces imposible el considerarlas una y otra independientemente, pues que es preciso decir que la Mesa Central avanza muy irregularmente en las sierras en donde éstas se hallan muy desparramadas como en el Norte; otras veces el principio de la Sierra Madre se anuncia por una elevación muy poco sensible del terreno; colinas limitan el último valle de la Mesa y una serie de altas mesetas ó de cuencas rodeadas de altas montañas indican el paso de la Sierra Madre como sucede frecuentemente en la región volcánica meridional (Tepic, Jalisco, Michoacán). Una tercera forma de limitación es aquella en la que la Mesa Central viene á interrumpirse súbitamente al encuentro del primer macizo de la Sierra Madre, elevado y escarpado como una gran barrera; tal puede verse en la región meridional de Chihuahua, partes de Durango y de Zacatecas. Esto es muy claro en los dos primeros Estados, porque allí casi termina la región desértica del Bolsón de Mapimí, y en el Estado de Zacatecas, porque allí acaban llanuras saladas y aun pantanosas.

En cuanto á la manera según la cual las últimas Sierras caen hacia las costas del Pacífico puede también variar un poco; por regla general los últimos elementos del relieve quedan muy próximos del litoral, de modo que la zona de tierras bajas en frente de las playas es generalmente angosta. En el Norte del Estado de Sonora las cadenas de montañas estando como hemos dicho más separadas, es fácil suponer que valles amplios más y más bajos desciendan hasta la vasta llanura seca y desierta enfrente del Golfo de Ca-

lifornia. Tales llanuras tienen en algunos lugares más de cien kilómetros de ancho y en ellas desaparecen las aguas que descienden de las sierras. Más al Sur, en el Estado de Sinaloa, contrafuertes desprendidos avanzan hasta el mar, ó bien sierras bajas aisladas costeras encajonan valles amplios que van hasta el pie de la Sierra Madre. En el Distrito del Fuerte, colinas costeras dan un litoral bastante desgarrado que forma bahías más ó menos grandes y abrigadas, como en Topolobampo, ensenadas sinuosas y rocallosas como en Mazatlán, etc. Este avance de los elementos de la Sierra Madre hasta el mar, muy marcado también en Tepic y Jalisco, hace muy accidentada la línea del litoral, como se ve también en la Sierra Madre del Sur, dando un contraste muy sensible entre el litoral general del Pacífico, de líneas firmes y sinuosas, y la uniformidad y vaguedad de la línea de la costa del Golfo de México, que no presenta en su mayor longitud puertos naturales que serían tan provechosos á nuestro comercio. No escasean, sin embargo, lugares en donde la Sierra Madre, formada de macizos muy unidos y elevados, reposa directa y bruscamente sobre las llanuras débilmente inclinadas de las costas, presentándose entonces como del lado de la Mesa Central, en la forma de una gran barrera de contornos relativamente poco sinuosos y arredondeados y con sus pendientes cubiertas de exhuberante vegetación. La Sierra de Acaponeta, al Norte de Tepic, parte de la Sierra de Coalcomán, etc., están en este caso.

Las formaciones volcánicas de la región meridional no son sin influencia en las condiciones topográficas del litoral, y esto da lugar á formas un poco diversas. Los conos eruptivos que se encuentran en la región de Tepic, prolongaciones de la región volcánica del Ceboruco, se continúan en las vertientes occidentales de la Sierra Madre. Estos conos eruptivos y sus corrientes de lavas forman allí las últimas unidades de la Sierra en una cadena más ó menos interrumpida de volcanes entre San Blas y el Cabo Corrientes. Las corrientes de lavas se pierden debajo de las aguas del mar.

Considerada independientemente la Sierra Madre y como resulta de lo que acabamos de decir los sistemas de montañas forman un conjunto asimétrico en el que el eje de más grande elevación no se encuentra sino raras veces en el medio, unas veces se carga hacia la costa y otras veces está más cerca de la Mesa Central. Las crestas sucesivas van poco á poco disminuyendo en altura hacia el Oeste; otras veces una elevación que comienza por altas mesetas más ó menos separadas de la Mesa Central van á encontrar al eje que es una alta y alargada meseta.

Bien que las formas generales de las montañas se hallan muy atenuadas por la erosión y arredondeadas, es fácil observar que la asimetría de que acabamos de hablar se manifiesta aun en la desigual pendiente de las sierras, sin que esto ofrezca una regularidad completa. En efecto, de la Mesa Central hacia el Oeste, las pendientes orientales de las sierras son generalmente suaves, las pendientes opuestas fuertes y escarpadas, exceptuando el caso en que los valles comprendidos entre dos sierras hayan sido exclusivamente abiertos por la erosión.

En cuanto á la anchura de la Sierra Madre occidental, es en distintas partes de su curso muy variable, puede considerarse comprendida entre 200 y 400 kilómetros; por ejemplo, un perfil entre las llanuras de Zacatecas y el puerto de San Blas, más ó menos á la altura de 22 grados de latitud Norte, la anchura no es menor de 400 kilómetros mientras que en la región de las altas mesetas al S.W. de Guadalajara, será apenas de 250 kilómetros. En general puede decirse que la anchura media de la Sierra Madre es de 300 kilómetros.

De la particular ordenación de los elementos orográficos componentes de la Sierra, resulta naturalmente la distribución de las corrientes de agua, que tienen, por regla general, un curso paralelo al de las mismas sierras, contenidas como están, dichas aguas en valles longitudinales, hasta el lugar en donde el término de las sierras ó las truncaduras permiten la salida de las aguas hacia el mar cambiando entonces de rumbo y tomando la dirección normal á la línea de costa. Con estos cambios de dirección coincide un cambio en el régimen de dichas aguas. Los ríos en el interior de las sierras tienen un curso torrencial más ó menos acentuado por efecto de las fuertes pendientes y estos ríos y arroyos son alimentados en partes por aguas salvajes. Cuando el rumbo de la corriente acusa su tránsito por la costa, el curso se regulariza, la impetuosidad de las aguas sólo tiene lugar en las épocas de lluvias. En las costas poco accidentadas y bajas, las crecientes anormales pueden determinar en los ríos un curso divagante ya cerca de las playas, fenómeno que no sólo se verifica en las pequeñas corrientes sino aun para ríos de la importancia del de San Pedro y del de Santiago que desaguan en las costas de Tepic. Estos cambios determinan el régimen de los esteros.

Como ejemplo de ríos en que los afluentes principales se ordenan paralelamente á las sierras se podrían citar casi todas las corrientes de importancia en Sonora y Sinaloa, de la cuenca que pudiéramos llamar del Golfo de California: el río de Sonora, el Yaqui, el Mayo, el Fuerte, etc. El mismo caso se aplica al río de San Pedro que desemboca al mar en el territorio de Tepic y que nace en el Estado de Durango.

De todos los ríos que nacen en la Sierra Madre con desagüe hacia el Pacífico es curioso notar que todos tienen un descenso general hacia el Sur, lo que muestra claramente un gran declive continental.

El inverso declive de la Mesa Central hacia el Norte motiva el curso de los pocos ríos interiores que nacen en la propia Sierra Madre, los que caminan hacia el Oriente ó al N.E., hacia las cuencas cerradas interiores de la Mesa, como el río Nazas, ó un curso hacia el Norte, hacia la cuenca del río Bravo, como el Conchos.

No queremos hacer ya más larga la digresión sino para agregar algunas palabras á lo que ya hemos dicho sobre el papel que ha desempeñado la erosión en la morfología de la Sierra Madre. Los comunes agentes de denudación han dejado huellas muy claras en las partes de la Sierra constituídas de depósitos sedimentarios al modificar las formas resultantes de la tectónica. En

las regiones puramente eruptivas, que son las más grandes, las formas primitivas son más difíciles de interpretar pero no es imposible observar, que se conservan algunos trazos de su acumulación original y las huellas de accidentes orogénicos posteriores á su erupción pero que, la mayor diversificación y rugosidad, depende de los agentes exteriores que han destruído en sumo grado la sencillez topográfica y la uniformidad primordial. Climas menos benignos que el actual por un lado y dureza variable de los diversos materiales volcánicos por otro, miden aquí la energía de la erosión. Las aguas corrientes han sido el agente principal, han surcado en barrancas profundas simples desigualdades del suelo, han suprimido blocks enteros de rocas comprendidas entre dos fallas ó entre simples fracturas, separando así y fraccionando enormes corrientes de lavas. La alargada cavidad de una grieta se ha transformado en un cañón con sus bordes á veces al mismo nivel, y con muros acantilados correspondientes.

La desigual dureza de las rocas eruptivas ya por la ordenación y sucesión de distintas clases de material, ya por la heterogeneidad del magma de donde proceden, engendra por erosión formas bastante características. Por ejemplo, las rocas de magma silicificado se desgarran en agujas en las crestas de algunas montañas asemejándose entonces á las de la Mesa Central cuyo tipo son los Organos de Actopan, ó se aislan en domas cónicos semejantes al Peñón de Bernal, ó se coronan de mesas recortadas como la Peña del Jacal, etc. Formas abruptas en rocas antiguas también se encuentran adornando graciosamente el paisaje; por ejemplo, las de los macizos graníticos del Desmoronado en Mascota, que es un pequeño girón de rocas paleozoicas rodeados de rocas eruptivas terciarias y con una vegetación de tal modo variada y abundante, que hacen de esta región una de las más amenas de la Sierra Madre.

Pero la grandeza principal del Oeste de México estriba, no en la variedad de las formas como hemos dicho, sino en la repetición inmediata y sucesiva de términos montañosos semejantes, en la exagerada rugosidad y en el escalonamiento algunas veces muy regular de las crestas de las sierras; en fin, en el intrincado laberinto de aristas y barrancos. Cimas desnudas, mesetas regulares, barrancas tapizadas de abundante hierba, laderas escalonadas lisas y multicoloras ó montes espesos, muchos vírgenes; tal es el espléndido panoroma de la Sierra Madre Occidental.

Dadas estas ideas generales, tiempo es ya de ver con qué abundancia y profusión se encuentran las rhyolitas en esta grande faja montañosa. Si comenzamos una enumeración por los Estados fronterizos, citaremos desde luego á Sonora y Chihuahua, que los dos comprenden partes de la Sierra Madre. Del primero de estos Estados el Sr. José G. Aguilera nos ha dado una sucinta descripción geológica[1] de los Distritos del Norte; Ures, Moctezuma y

1 J. G. Aguilera. Estudio de los fenómenos séismicos del 3 de Mayo de 1887. An. Min., Fom. Vol. X, 1888.

Arizpe, y que puede completarse con la del Sr. F. Buelna[1] para el Distrito de Magdalena. Por estas descripciones vemos que aunque en esa región las rocas eruptivas terciarias abundan, la mayoría sólo son representantes de las andesitas y de los basaltos, las rhyolitas no bien identificadas, son raras y ocupan áreas pequeñas. No así en la región oriental de la Sierra Madre que comprende parte de Chihuahua; numerosas muestras de rhyolitas nos han sido presentadas para su estudio procedentes de los Distritos de Galeana, de Hidalgo, de Guerrero y de Mina y en general de los Distritos occidentales y sabemos que se encuentran tales rocas en grandes superficies. Las rhyolitas vienen siendo ya las dominantes de la parte oriental de la Sierra desde el Sur de dicho Estado de Chihuahua y con esa abundancia continuarán hacia el Sur hasta el Territorio de Tepic, como lo muestra el mapa de la República que hemos formado, en el que van marcadas las principales regiones rhyolíticas de México. En esa carta se ve que las grandes areas rhyolíticas se agrupan generalmente en las regiones orientales de la sierra. En cuanto á la manera como las rhyolitas se presentan, ya vimos que abundan las áreas pequeñas, las masas acantiladas, con estructura frecuentemente columnar y con aspecto de Bufas, yaciendo sobre rocas verdes andesíticas, sobre granitos y dioritas y aun sobre pizarras antiguas que contienen vetas auro-argentíferas. Esta forma de bufa es tan común que habríamos de citar una larga lista ó enumerar todos los distritos mineros desparramados á lo largo de la Sierra en los Estados de Sinaloa, sur de Chihuahua y Durango, de las que sólo ponemos como tipo, las de los minerales de San José de Gracia en Sinaloa; las de Morelos, Batopilas y Parral, en Chihuahua; las de Copalquín, Indé, Topia y Papasquiaro en el Estado de Durango. Pero no es nuestro ánimo entrar en descripciones de regiones rhyolíticas que tanto se asemejan á las de la Mesa Central. De no menos interés geológico son las grandes áreas de rhyolitas que cubren con un manto poderoso la parte más considerable é intrincada de la Sierra Madre, revistiéndola de una grande uniformidad geológica en Durango, Tepic, Jalisco y Zacatecas.

En efecto, cuando se viaja en las partes de la Sierra ocupadas por las rhyolitas se puede observar con cuánta regularidad se ordenan los valles longitudinales anchos ó angostos, profundos y escalonados. Las paredes de cada cañón muestran una serie alternada de bancos de rocas duras en paredes verticales de varias decenas de metros de altura y bancos de rocas blandas en talud más ó menos débil. Esta serie, admirablemente regular y frecuentemente simétrica en los dos lados del cañón presenta inclinaciones muy débiles y á veces aparentemente horizontal. La región que se llama el Nayarit, en Tepic, ofrece en sus sierras y cañones con perfecta regularidad esta disposición. Tal es el cañón de Huajimic, las regiones vecinas de Guayanamota, de Ixcatán, de Acatán, etc., partes del cañón de Bolaños en Jalisco, ó sea la

1 R. F. Buelna. Itinerario Geológico. Bol. del Inst. Geol. de México., núms. IV, V y VI, 1896.

parte de la Sierra Madre entre Zacatecas y Tepic, cuya descripción hemos ya dado en nuestros itinerarios geológicos. Un paisaje así no está desprovisto de grandeza, no sólo por la aridez y fuerte colorido que tienen las rocas de estas regiones poco transitadas, habitadas solamente por unos cuantos indios, sino aun por lo exagerado de la altura de las mesetas comparada con el fondo de los valles, que con frecuencia alcanza de seiscientos á mil metros.

Extensas mesas se encuentran entre Durango y Sinaloa. La Mesa de Juanota en Chihuahua, en medio de la Sierra, se halla ocupada por pequeñas lagunas, la mesa de Guachoechic cerca de Pinos Altos, sirve de base á elegantes picos de rocas macizas. La Sierra de la Parida, en Tepic, tiene por cima una alargada mesa.

Las rhyolitas son las únicas rocas que allí dan tan peculiar disposición, rhyolitas macizas, vítreas ó feldsíticas, raras veces esferolíticas. Los gruesos bancos alternan con tobas blancas y rosadas, poco consistentes, susceptibles de fácil desagregación. En el cauce de los ríos, en el fondo de los cañones vemos á veces las andesitas, muy raras veces las traquitas, sobre las que apoyan las rocas silizosas y en las mesetas de las cimas, delgadas y fluidas corrientes de lavas basálticas alternando con brechas volcánicas que interrumpen bruscamente la regularidad de las mesas. Calizas cretáceas en gruesas capas onduladas sirven de lecho á los mantos de rhyolitas en muchos lugares como en las orillas del río de Santiago y que bordean en parte á la alta meseta de Tepic; y en la Sierra de Alica, frente á Huajimic, dioritas y diabasas se ocultan por las rhyolitas cerca de la cima de la Sierra.

La regularidad y ordenación de los mantos sucesivos de rhyolitas y de sus tobas no dan lugar á duda de que se han depositado como corrientes y de que cada grupo representa el producto de un solo paroxismo. Las primeras corrientes en su movimiento tenderían á regularizar y disminuir la pendiente que le sirvió de lecho y por eso las graderías superiores son más regulares no sólo en la constancia del espesor sino aun en su horizontalidad, como se ve en las cornisas que sostienen las amplias mesetas. No es posible, sin embargo, suponer que tan extensas corrientes, que pueden seguirse en decenas de kilómetros á lo largo de los valles, hayan tenido su origen por simples bocas volcánicas como en las erupciones actuales, sino que es preciso invocar como forma más plausible de emisión, las erupciones por largas grietas abiertas durante un período de dislocación de importancia continental. Solamente así se puede explicar un volumen tan grande de rocas efusivas de una sola composición, estructura semejante y aparecidas en un solo momento de la evolución del continente, pues por distantes y diseminadas que puedan estar las regiones dislocadas por donde han tenido fácil eyección las rocas silisosas, de casi todas se puede suponer que tienen una sola edad, como veremos después.

Si bien esta manera de explicar la salida de masas tan considerables de lava, no ha encontrado todavía una exacta demostración, ha sido tomada desde

hace años como la que mejor satisface al carácter de conjunto de muchas regiones extensas, no sólo de rocas de siliza libre, sino de otras rocas neovolcánicas; así lo han expuesto desde hace muchos años Richthofen y Geikie. Esta forma de erupciones por grietas ha tenido su fundamento seguramente en la dificultad que se tiene de encontrar chimeneas de erupción por donde tales masas de rocas hayan podido engendrarse.

Si la erosión, como hemos dicho, ha tomado un participio activo en el modelado final de la Sierra Madre, parece natural pensar que esta acción ha acentuado en muchas partes la accidentación original y que hay una causa más trascendental de la cual dependen la ordenación y sucesión de las sierras, la existencia de valles longitudinales sucesivos y paralelos, profundos y escarpados.

Al querer tratar tan delicada é importante cuestión no nos ocupamos más que de aquellas partes de la Sierra Madre que sólo muestran rocas eruptivas, porque para la región del Norte y algunos tramos del Sur, en donde las rocas sedimentarias mezozoicas abundan y en donde hay también rocas eruptivas antiguas, el problema es aún más complicado y difícil.

En las regiones de rhyolitas del corazón de la Sierra entre Tepic y Durango próximamente, en donde las corrientes de estas rocas alcanzan centenares de metros de potencia, las rocas eruptivas andesíticas que les sirven de base mostraban, antes de la invasión rhyolítica, un relieve mucho más acentuado, determinado por una activa erosión. La invasión de las rhyolitas, bien que exagerando la altura absoluta de los macizos, produjo una simplificación del modelado; valles amplios fueron cubiertos de mantos sucesivos de lavas que escurrieron con lentitud, y al final de un tan largo período de erupción, aquel país quedó convertido en una serie de amplias y elevadas mesas, de las que sobresalían en algunas partes domas ó apófisis de acumulación de rocas, ó crestas alargadas que cubrieron las grietas de erupción. Las aguas comienzan á abrir verdaderos cañones ó tajos favoreciendo este trabajo la alternancia de rocas duras y de tobas; este es el origen de numerosos valles secundarios muchos de los cuales son paralelos á los grandes valles longitudinales.

En cuanto á muchos de estos últimos las causas parecen haber sido otras y hay que buscar la explicación en otra serie de fenómenos. Nos sorprende con frecuencia la semejanza que tienen algunas partes de la Sierra Madre Occidental con regiones casi puramente eruptivas del Norte de la Gran Cuenca, especialmente con las Stein Mountains en el Sur del Oregón, de las que se encuentra una descripción en el 4th. An. Rep. U. S. Geol. Surv.

Russell [1] observa que un examen de conjunto de aquella región, da forzosamente la impresión de que el país fué en un tiempo una extensa mesa volcánica que ha sido rota y fraccionada por numerosas fallas orientadas N.–S. y que los blocks resultantes se han hundido y caído bajo diferentes ángulos.

1 Y. J. Russell.—A. Geological Reconnaisance in southern Oregon.—Fourth An. Rep. U. S. Geol. Surv., 1882–83.

Aquella porción de la Gran Cuenca está formada exclusivamente de rhyolitas, de tobas rhyolíticas y de basaltos; las líneas de falla tienen varias millas de longitud y las depresiones resultantes de los hundimientos, están ocupadas por aguas más ó menos salinas, con ó sin salida á los valles inmediatos. El resultado de los hundimientos, de importancia muy variable según la situación y proximidad de las fallas, ha sido la de producir lo que llaman "orographic blocks," es decir, partes de mesas diferentemente hundidas y por lo tanto escalonadas, más ó menos inclinadas y comprendidas entre dos fallas, dando lugar su sucesión á producir lo que Powell llama "zonas de desalojamiento diverso." Nosotros creemos, que un fenómeno semejante ha tenido lugar en ciertas partes de la Sierra Madre mexicana, solamente que las líneas de falla, orientadas también de N. á S. ó de N.W. á S.E. no son tan largas y sí son más próximas; los blocks orográficos son de menores dimensiones y el poder torrencial de las aguas, que parece haber sido aquí mayor que en aquella región de la Gran Cuenca, ha tendido con grande energía á modificar la regularidad topográfica y á impedir la acumulación de las aguas, como en el clásico país del Oregón. Pueden encontrarse é identificarse á veces las paredes escarpadas de los planos de las fallas.

En resumen: erupciones de rocas ígneas por grietas; hundimientos á lo largo de grandes líneas de fractura, y erosión; hé aquí los tres factores determinantes de la forma actual de la mayor parte de la Sierra Madre; los dos primeros fenómenos no han sido en general sino el efecto de una causa anterior, la de complicados y enormes plegamientos manifiestos en las rocas sedimentarias de la Sierra.

Una serie tal de fenómenos con esa sucesión es la que supone C. King y otros que ha tenido lugar para toda la Gran Cuenca de Nevada, pues además de la región de Oregón que acabamos de citar hay otros muchos lugares que ofrecen la más grande semejanza morfológica con aquella porción á la vez que con nuestra Sierra Madre, de modo que pueden estrictamente compararse. Citaremos por ejemplo, los montes de Satoya, divididos por cañones, en cuyos escarpes se ven la alternancia de rhyolitas y de tobas, la Pah-Ute Range, y sobre todo esa grande área rhyolítica del paralelo 40, que comprende las sierras de Augusta, Fish-Creek, Shoshone, Toyabe, Cortés, Seetoya, etc., en donde se pueden obtener espesores de conjunto de las numerosas corrientes de rhyolitas y tobas, desde 2,000 hasta 7,000 pies. C. King[1] supone con justicia que masas tan considerables de lavas han debido aparecer á lo largo de grietas abiertas sobre enormes fallas, suposición que nosotros hacemos extensiva á nuestra Sierra Madre Occidental.

1 C. King.—Geol. Explor. of the Fortieth. Paralel.—Vol. 1, pág. 735.

Edad de las Rhyolitas.

Hemos pretendido demostrar en varias partes de este estudio, que por la semejanza en las condiciones de yacimiento de las rhyolitas, por su abundancia en determinadas regiones, etc., que esta extendida familia pertenece á una sola época en la serie de erupciones terciarias de México, y vamos á ver hasta que punto es posible definirla. La serie de erupciones terciarias en el país, se inaugura con rocas de estructura claramente granítica; granitos, granulitas, dioritas y diabasas; las dos últimas, por simples cambios de estructura, dan lugar á andesitas con aspecto de porfiritas andesíticas ó de propylitas, como lo hemos visto en las rocas de Pachuca, de Guanajuato, de San José de Gracia y de otros puntos de la Sierra Madre. Igualmente, Pachuca y Real del Monte, nos muestran hasta la evidencia la transición paulatina de las andesitas á las dacitas y á las rhyolitas (feldsonevaditas), resultando de esto la comprobación de que por causas imperfectamente conocidas, un solo magma interno es capaz de dar origen á tales cambios en las rocas, lo que caracteriza el fenómeno que han llamado "diferenciación." Sea un solo magma como nosotros creemos ó la mezcla de dos ó más magmas como otros pretenden, el hecho de un cambio paulatino en la composición de la masa fluídea, da lugar á pensar en revoluciones internas sometidas á una ley en tiempo y espacio definidos, pues que con muy ligeras diferencias, sin importancia decisiva, se puede decir que en todas partes la ordenación sucesiva de las erupciones, juzgando por la composición y estructura de las rocas, ha sido la misma. Ponemos aquí el ejemplo de la Gran Cuenca de Nevada. Muchas sierras de aquella región ofrecen una sucesión estrictamente comparable con la de México.

Mr. J. E. Spurr[1] publicó hace poco tiempo un estudio sobre "Succesion and relation of lavas in the Great Basin region," en el que resume las observaciones hechas sobre el particular desde los estudios de Richthofen hasta los de estos últimos días. Generalizando los datos así obtenidos, é incluyendo los que suministran localmente un buen número de sierras, Mr. Spurr establece cinco grupos, que por su orden de erupción, son:

1. Acido (tipo rhyolita de biotita).
2. Intermediario silisoso (andesitas).
3. Acido (rhyolitas de composición semejante á las del grupo 1).
4. Intermediario básico (andesitas más básicas y aleutitas).
5. Básico (Basaltos) íntimamente asociado con algunas rhyolitas.

1 Jour. of Geol., Vol. VIII, Núm. 7, 1900.

Con los elementos que poseemos, hemos establecido la sucesión de nuestras erupciones terciarias, de esta manera:

Granitos–Granulitas.
Dioritas–Diabasas.
Andesitas–Dacitas.
Rhyolitas.
Dacitas–Andesitas.
Basaltos–Andesitas basálticas.

De nuestros volcanes actuales, unos son andesíticos basálticos y otros basálticos propiamente dichos.

Como se ve, las dos series son comparables; pero nuestro primer grupo ácido, incluye desde los granitos, como en la serie de Mr. Becker, para el Distrito de Washoe; al segundo grupo de Spurr pertenecen nuestro segundo y tercero, tan íntimamente ligados como están, en la misma región de Comstock, según lo demuestran Iddings y Hague. Por último, en el tercer prupo de Spurr quedan exactamente comprendidas nuestras rhyolitas con la misma edad que ese autor les asigna.

Ha habido, pues, en las erupciones de rocas microlíticas, ciertas recurrencias importantes que se notan principalmente en las andesitas y dacitas.

Si desde luego sólo tomamos en cuenta la sobreposición de las rhyolitas para juzgar de su edad, hé aquí los distintos casos que hemos observado, según consta en las páginas que anteceden.

Las rhyolitas flanquean á depósitos y rocas eruptivas arqueanas y paleozóicas, accidentalmente en algunos lugares de Sonora, de Sinaloa y de la Baja California. Este caso pudiera compararse al que con frecuencia ofrecen las rhyolitas en el W. de las Montañas Rocallosas, como en Medicine Bow; ó como en la Sierra Nevada; de esta última dice King[1] que en el "período de las eyecciones rhyolíticas," una grande serie de corrientes siguieron claramente el eje de una larga línea de elevación.

A despecho de la diferente edad de las rocas subyacentes, supone King con justicia, que hubo en toda la Gran Cuenca un período de eyección rhyolítica, que en otras partes de su notable memoria considera como de edad post-miocena, suponiendo que las más antiguas erupciones de rhyolitas fueron contemporáneas de los primeros lechos pliocenos. Igual edad tienen sin duda las inmensas cantidades de lavas ácidas de México, no sólo las poderosas masas de la Sierra Madre occidental, sino también las colinas y aislados macizos de la Mesa Central, que en muchos respectos pudieran semejarse á las del W. de los montes Wahsacht.

Las rhyolitas descanzan sobrelas andesitas. El Sr. Aguilera,[2] en su Sinopsis

1 C. King.—Geol. Expl. Fortieth Paralel.
2 Aguilera.—Bol. del Inst. Geol. de Méx., Núms. 4, 5 y 6.

de Geología Mexicana, dice que las andesitas verdes han aparecido á fines del Mioceno; después de las erupciones de andesitas de hornblenda, que tienen ó no facies propylítica, siguen las rhyolitas, de donde se deduce que estas rocas han sido, consideradas por él, como inuagurando casi las erupciones pliocénicas. Ya hemos dicho entre otros casos, que corrientes de rhyolitas se intercalan en lechos en las margas y arcillas pliocénicas de Yahualica en Jalisco.

El conglomerado rojo de Guanajuato, que como hemos visto sirve de base á las tobas rhyolíticas y rhyolitas, ha sido considerado como de la base del plioceno y aun quizá mioceno; las tobas rhyolíticas que iniciaron en esa región el período de eyección rhyolítica, se han sedimentado después que esos conglomerados y las areniscas verdes que ocupan la cima de la formación, han sufrido movimientos ondulatorios y dislocaciones que tuvieron lugar largo tiempo después de su depósito. A estos movimientos, que probablemente son la causa, siguieron inmediatamente las erupciones de rhyolitas. Esta misma serie de fenómenos se repitió en Zacatecas y en otros muchos lugares del país.

El período de las erupciones de rhyolitas debió prolongarse en México durante largo tiempo como en los Estados Unidos, al menos como allá, durante el primer tercio del período plioceno, pues sólo así se explican las pequeñas diferencias perceptibles en la edad de estas rocas, como por ejemplo, entre las feldsonevaditas del Real del Monte y las rhyolitas litoides ó esferolíticas, con litofisas de sus vecinas las montañas de las Navajas.

La demostración precisa de un largo período de erupciones rhyolíticas, puede obtenerse, observando que las primeras emisiones de las rocas ácidas, parten del fin de las erupciones de andesitas verdes, por transición, con un intermedio que son las dacitas, según hemos dado ya varios ejemplos; pero en la Sierra Madre, entre las andesitas subyacentes y las rhyolitas, hubo un largo periodo de tranquilidad relativa, durante el cual la erosión ha obrado con grande energía para producir un avanzado desgaste en las rocas andesíticas. Podemos decir para esta parte de México, lo que dice Emmons y otros, de las sierras de Nevada, que: la grande erosión de dichas sierras, tuvo lugar antes del período de eyección de las rhyolitas.

Razones tectónicas demuestran también la edad pliocénica de las rhyolitas mexicanas. Al plegamiento de los sedimentos cretáceos, fuertemente desgastados en algunas regiones, se debe la erupción de las rocas microlíticas, principalmente andesitas, las antecesoras inmediatas de las rhyolitas. Los plegamientos de los depósitos cretáceos han movido también algunos sedimentos terciarios eocenos y miocenos.

Para terminar, sólo nos falta agregar, que no puede precisarse ninguna relación entre la edad relativa de las rhyolitas y ciertos cambios en la estructura de estas rocas, pues que más bien parece no existir ninguna modificación aparente que dependa de la edad dentro del sólo período de eyección que consideramos. Sí es frecuente observar que las raras feldsonevaditas, vienen entre las más antiguas erupciones; y que son rocas que provienen de un enriquecimiento paulatino de sílice, de un magma al principio de naturaleza andesítica.

RÉSUMÉ.

Le Mexique est caractérisé par l'abondance des roches trachytiques ou microlithyques tertiaires qui ont été mises au jour depuis la fin de la période éocène jusqu'à nos jours dans une succession chronologique assez définie par quelques changements de nature dont nous avons déjà saisi les traits particuliers dans les Bulletins 4, 5 et 6 de l'Institut Géologique.

Dans un pays aussi abondant en roches effusives volcaniques que celui-ci, l'étude systématique de ces espèces de roches ne manque pas d'intérêt si elles sont encadrées dans les tableaux des classifications modernes en donnant en même temps des détails de ses conditions géologiques, les formes affectant dans le terrain par leur genre d'éruption et leur rôle économique comme matériaux de construction ou comme partie du sol agricole dont elles sont une source pendant la désagrégation si longtemps pratiquée. Voilà la tâche que nous voulons entreprendre en commençant la série de nos études par les rhyolites, une famille de roches volcaniques bien développée dans le pays quoique la première place, par une plus vaste distribution, soit acordée au grand groupe des andésites.

Nos collections de roches déjà nombreuses de tous les points du pays, et constamment enrichies par des apports de nouvelles localités nous permettent de prendre l'étude, naturellement faite sur un nombre suffisant de préparations microscopiques, où nous découvrons les variations du type de chaque famille, de chaque espèce, et de nous assurer ainsi des modifications apportées par des changements dans la composition des magmas, états divers de refroidissement, altérations de toute sorte etc., en un mot, les conditions introduites par des phénomènes d'ordre chimique et physique opérant en degrés variables d'intensité.

Les rhyolites, dans un sens général ont l'avantage de former un groupe de roches assez bien délimité avec des caractères la plupart accessibles à l'œil nu

en dépit des différents aspects des individus, car la dûreté, la présence du quartz, la texture, la fluidité, la couleur etc., nous frappent au premier abord. Il faut cependant, dans bien des cas, un examen plus approfondi dans les cas où les espéces touchent les limites des autres familles des roches, en raison de la gradation parfaite qui apparaît dans toutes les roches connues, en nous donnant la clef des mutations opérées dans les profondeurs dont les lois restent encore à l'état de problèmes.

Les premiers savants qui firent des voyages au Mexique ont fait des études dans les districts miniers alors florissants où existaient, dans la plupart des cas, des roches volcaniques qu'ils désignèrent sous le nom de porphyres. Leur attention fut frappée néanmoins de ce fait, que dans les régions minières il y en a quelques montagnes de formes escarpées, dans le voisinage des filons, que les explorateurs avaient distinguées avant sous le nom de *Bufas*, formées de roches dures ou quartzeuses un peu différentes de la roche renfermant des filons. Humboldt le premier se posa le problème du rapport entre ces roches qu'il retrouva à Pachuca et à Real del Monte.

Pour lui la roche des filons est un porphyre à base argileuse, tandis que les roches siliceuses appartiennent au porphyre à base de pétrosilex, porphyre à base de pechstein, porphyre qui contient de l'obsidienne en rognons, etc. D'autres fois les altérations, les phénomènes de silicification ont rendu difficile la distinction des roches, de même que l'interprétation de leur vraie origine; comme cela est arrivé à Guanajuato où les roches siliceuses des *Bufas* furent considérées par Burkart et Virlet d'Aoust comme sédimentaires métamorphiques.

Peu à peu la séparation s'impose; le *porphyre trachytique* reste comme un nom appliqué à beaucoup de roches microlithiques (andesites), le porphyre quartzifère à des roches à silice libre, c'est–à–dire, aux *rhyolites* ou *liparites*, ainsi nommées dès que nous avons introduit chez nous l'usage du microscope.

Parmi les termes: quartz–trachyte, liparite, rhyolite, d'un usage courant pour désigner toutes les roches de cette famille, nous avons adopté exclusivement le dernier, le mieux connu au Mexique, et qui a aussi l'avantage de dénoter un caractère de structure qui est fréquent dans la plupart des espèces.

Quelques auteurs entre autres M. Rosenbusch ont formulé une séparation des quartz–trachytes ou rhyolites par la teneur des alcalis ou par la nature des felspaths qui entrent dans sa composition, soit la sanidine, l'albite ou feldspaths plus basiques. Nos documents ne sont pas encore assez détaillés pour suivre de tout près une telle division; il faut nous contenter pour le moment de l'étude des rhyolites qui ont de la sanidine, de même que d'autres feldspaths à titre d'accesoires (l'albite, le labrador l'andésine). La potasse et la soude rentrent dans des proportions semblables, ou bien la teneur en soude est légèrement supérieure à celle de la potasse.

Nous n'avons pas pu comparer nos rhyolites avec les roches de composi-

tion et structure semblables mais d'âge prétertiaires nommées quartz-porphyre à cause de la rareté des formations paléozoïques auxquelles ils seraient en quelque sorte associés. Si ces porphyres existent au Mexique nous n'en connaissons pas d'exemples bien clairs.

Les divisions principales des rhyolites établies à la page 13 de notre travail sont à peu près les mêmes que celles faites par la plupart des auteurs, notamment par Rosenbusch, qui considère d'abord les névadites avec la définition de V. Richthofen; c'est-à-dire des roches avec prédominance des éléments porphyritiques sur le magma d'une seconde consolidation. L'état plus ou moins avancé de cristalisation ou de dévitrification de ce magma donne les subdivisions de felsonévadites et de hialonévadites. Nos représentants de cette division sont rares et encore douteux et c'est par question d'ordre qu'il faut les conserver dans notre classification avec l'espoir d'avoir un jour une rencontre heureuse vu l'abondance des roches siliceuses.

La seconde division est celle des rhyolites proprement dites à magma feldsitique et microfeldsitique avec de la matière amorphe et développement sphérolitique englobant des cristaux de feldspath, de quartz, de biotite et d'hornblende, etc. A cette division nous considérons subordonnées les litoïdites, roches à magma d'aspect uniforme avec rareté de cristaux de première formation.

La troisiéme division est celle des rhyolites vitreuses (vidrios de rhyolita) représentées par la rétinite, l'obsidienne, la ponce, qui ont souvent la structure dite perlitique.

Si développées que soient les rhyolites dans le territoire mexicain il paraît que sa distribution obéit à certaines lois régies par l'âge et la nature de certains mouvements tectoniques. Une idée de cette distribution est donnée par la carte ci-jointe que nous avons préparée en réunissant les documents existants. Cette carte peut avoir quelques défauts de situation pour manque de données plus précises, mais nous croyons au moins qu'elle se rapproche assez de la vraie étendue de ces roches et qu'elle donne aussi une idée de l'importance de ces roches comme composantes du sol mexicain.

Depuis la frontière des Etats-Unis jusqu'au 21ème degré de latitude nous voyons une bande rhyolitique sur la Sierra Madre occidentale composée de parties présentant de grandes coulées, de grands plateaux, de massifs isolés, de dômes, etc. Les rhyolites surmontent les autres roches excepté le cas où elles sont convertes de minces coulées de laves basaltiques. Les longues crêtes et les plateaux sont orientés généralement parallèlement aux grandes vallées longitudinales tels qu'ils résultent des phénomènes de l'érosion autant que du mode d'éruption de ces roches. Les massifs peuvent être considérés dans quelques rares cas comme des points d'éruption de même que les dômes, car ils sont tout-à-fait semblables aux bufas du Plateau Central, placés ça et là près des régions minières. La zône rhyolitique en se recourbant, pénètre au Plateau Central dressée surtout aux bords septentrionaux des régions volcaniques récentes des grandes vallées de l'Anahuac dont les vastes coulées de

laves (andesites augitiques et basaltes) viennent les recouvrir en de nombreuses places. Ici les dômes ou bufas sont nombreux même que les vastes coulées sorties des vrais volcans.

D'après la manière dont ont pris naissance les rhyolites dans ces deux régions mexicaines, la Sierra Madre et le plateau Central, on peut établir une différence qui ne doit pas d'ailleurs être considérée comme une loi générale.

Les rhyolites de la Sierra Madre occidentale ont aparu pour la plupart par de larges crevasses parallèles aux lignes de direction du relief actuel, tandis qu'au plateau central les coulées procèdent des vraies cheminées d'éruption. Il y a certainement quelques bufas qui ne sont que des accumulations de roches au dessus de petites crevasses qui ont parfois une grandeur surpassant à peine d'un grand filon.

Les bufas sont tellement caractéristiques que nous sommes obligés de donner quelques détails à part. En effect; dans beaucoup de régions minières qui ont un grand développement de roches éruptives et que les filons sont en partie encaissonnés dans ces roches, on voit des montagnes aux sommets escarpés constituées de rhyolites ou de tufs rhyolitiques surmontant les roches andésitiques que contiennent les filons. Dans le texte nous donnons quelques exemples typiques des *bufas;* celles de Guanajuato qui forment le bord d'un plateau de tuf rhyolitique appuyé sur un support de grès vert et du conglomérat rouge miocène en couches ondulées de plus de 400 mètres d'épaisseur dessous lequel viennent les roches vertes. Ces tufs entourent aussi un massif de rhyolites sphérolitiques, le Cerro de Chichíndaro à l'extrémité du plateau. Tout porte à croire que la masse énorme des tufs s'est produite vers la fin des éruptions rhyolitiques si nombreuses dans la sierra de Guanajuato et pendant une série continuelle d'explotions qu'eut permis le transport des fragments des roches des parois des cheminées; on trouve le granit, les andésites même que les conglomérats emprisonnés dans les tufs.

La bufa de Zacatecas, constituée d'une rhyolite massive se montre comme une longue crête très régulière couronnant les dépôts restés en lambeaux des grès et conglomérats, comme ceux de Guanajuato, et que recouvre aussi des roches vertes andésitiques altérées et métamorphisées. Ici les rhyolites n'ont pas coulé mais elles sont venues s'accumuler et se refroidir sur la longue crevasse par où elles se sont fait jour.

Des autres exemples des bufas que nous étudions sont peut-être plus instructifs car les roches siliceuses qui les forment, procédent d'un magma de nature andésitique de plus en plus enrichi de silice. Elles témoignent pourtant le phénomène de la *differentiation.* La bufa de Real del Monte (cerro del Aguila) dôme rocheux près de ce District minier, s'est élevé à la fin des éruptions d'andésites, la roche dominante de ce district. Entre les rhyolites et les andésites on trouve toutes les gradations intermédiaires y compris les dacites. Des éruptions explosives ont donné naissance à des masses de tufs sédimentées et silicifiées par d'abondantes sources chaudes qui accompagnèrent les éruptions.

Les mêmes caractéristiques conviennent tout-à-fait à la Bufa de Mascota dans la Sierra Madre occidentale qui est un massif rhyolitique brechiforme au sommet des montagnes constituées de dacites, et d'andésites traversées par de nombreux filons.

Nous ne pouvons pas suivre les détails de tant d'autres bufas parsemées dans les régions minières de la Sierra aux Etats de Chihuahua, de Durango et de Sinaloa, connues de tous sous le même nom qui est pourtant très répandu. A part l'importance accordée aux rhyolites des Bufas comme succédant aux andésites sous quelques conditions, l'intérêt augmente si l'on songe au rapport qui peut exister entre ces roches à abondant silice, aux eaux thermales siliceuses accompagnant leurs éruptions et la formation des riches filons quartzeux du voisinage.

Nous avons choisi quelques autres exemples de régions rhyolitiques du Plateau Central pour montrer des particularités quand ces roches occupent de grandes surfaces. Nous parlons d'abord de "las Navajas" cette partie de la Sierra de Pachuca visitée par Humboldt au commencement du siècle, dont des échantillons emportés par ce savant ont été décrits par Tenne. Cette région, d'une beauté magnifique par l'exubérance de ses forêts, la douceur du climat et les variétés du paysage, est devenue pour nous classique. D'immenses coulées de laves rhyolitiques fort déchirées par l'érosion laissent voir de grands rochers couronnant les sommets, qui apparaissent comme morceaux d'un grand plateau de 3,500 mètres au dessus du niveau de la mer qui formaient les laves avant le morcellement de l'érosion. On trouve partout de belles colonnades des tronçons détachés, de la roche à aspect litoïdique, la seule qui forme les coulées. Dans les barrancas les masses de brêches permettent l'ouverture de cavités ou de grottes; et au fond de quelques ravins assombris par la végétation, on découvre la roche andésitique sur laquelle s'appuie le manteau de rhyolites.

Le Cerro de las Navajas est une des montagnes les plus élevées de la sierra, le sommet nu et rocheux laisse voir une surface ondulée rugueuse d'une lave coulée très fluide. Au pied on trouve de grands rognons et de nombreux fragments d'obsidienne noire avec sphérolites; et plus loin, à la base de la Peña del Aguila, de même qu'à celle du Jacal, des litoïdites mêlées d'obsidienne et de rétinites alternant en minces couches; il y a aussi des rhyolites sphérolitiques, et dernièrement, des lithophises provenant de l'action de vapeurs et d'eaux chaudes sur les roches près des emplacements des fumerolles disparues qui ont déposé aussi un peu de soufre.

L'aire rhyolitique de l'Etat de Querétaro est non moins instructive; au lieu de constituer de hautes montagnes elle nous montre des séries de basses collines séparées par de larges vallées. Les sommets tout applatis sont surmontés parfois par de petits cônes, spèce de *nekcs*, les uns de rhyolites, les autres basaltiques restes de volcans, car ces roches ont dernièrement couvert une partie des coulées rhyolitiques, tel qu'on le voit près de la ville de Querétaro, et à Apaseo, à Leon même, et près de Cadereyta et de Tequixquia-

pam. Ici les rhyolites montrent assez de variétés; à la base des litoïdites provenant de la *différentiation* d'une roche trachytique (la Trinidad) puis des rhyolites de plus en plus chargées de sphérolites creusées ou lithophises remplies, aux sommets des coulées par des rognons ou traînées d'opale laiteux, d'opale de feu et d'opale noble à beaux reflets, fort estimés. Les plus connues de ces opales venaient des carrières de l'Hacienda de Esperanza. Il faut attendre une importante production vu l'étendue des rhyolites opalifères quand on aura des moyens plus perfectionnés pour les recherches et pour l'extraction. Indépendamment de l'opale, on voit dans les parois des lithophises ou des cavités, et pénétrant quelquefois dans la masse même de l'opale, le quartz, la tridymite, très petits cristaux de feldspath et des aiguilles de rutile. Nous avons vu aussi dans de larges cavités des cristaux d'améthyste.

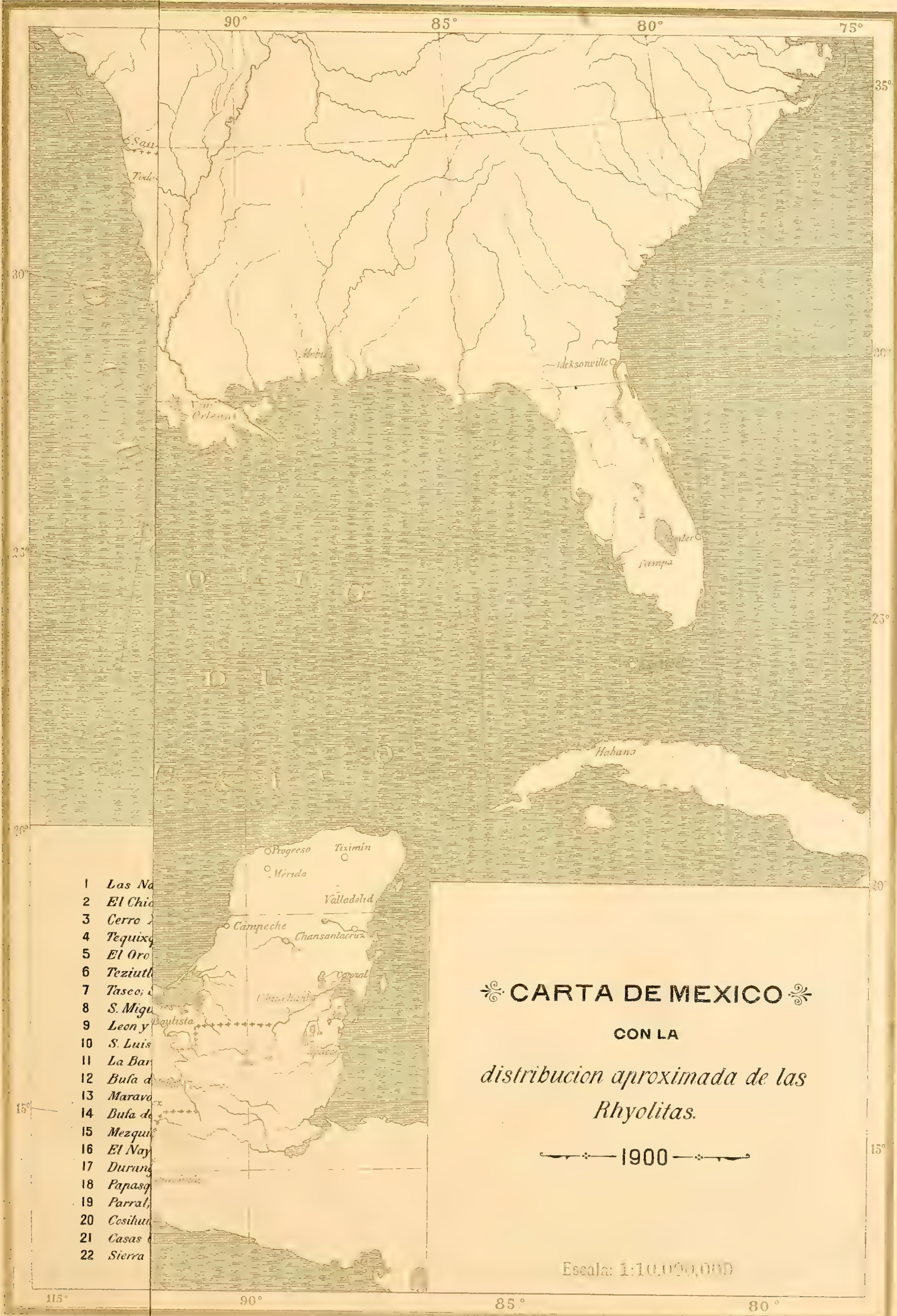
En parlant des autres endroits rhyolitiques du Plateau Central nous avons remarqué les belles obsidiennes noires, orangés et brunes de Maravatío, les rétinites du cône du Xicuco, de nombreuses apophises de rhyolites se rapprochant des feldsonévadites qui surmontant au Nord du pays beaucoup de montagnes calcaires à Pozos, à Cerro de San Pedro (S. L. P.), à Cerro de la Tinaja (Zacatecas), à Sierra Mojada (Coahuila), à Mapimi (Durango), etc. Il y a des rhyolites avec des rognons de cassitérite aux sierras près de San Luis Potosi et des rhyolites avec de magnifiques cristaux de topaze à la Sierra de Canoas dans le même Etat, etc.

Nous consacrons un chapitre spécial à l'étude de la manière de se présenter des rhyolites dans la Sierra Madre occidentale qui est par excellence éruptive, et où ces roches ont le plus grand développement comme on le voit dans notre carte; mais il nous a fallu pour une meilleure intelligence faire précéder l'étude, malheureusement succincte, d'une description de l'orographie, de l'hydrographie, des formes que revètent les montagnes, etc., de l'importance de l'érosion dans le modelé final, dont le résultat cache un peu la techtonique.[1]

Pour nous la Sierra Madre occidentale est un ensemble de systêmes de montagnes accouplés qui se montre avec une certaine individualité depuis la frontière des Etats-Unis, près de la limite du bassin de la rivière Gila jusqu'au 20ème degré de latitude, quoique le nom de Sierra Madre occidentale soit appliqué à la région de montagnes de l'ouest jusqu'au 17ème 30 degré de latitude, sur la coupure de la rivière de las Balsas. Dans cette immense enceinte de montagnes sillonées par d'étroites et profondes barrancas, des canons, ou de vallées longitudinales, de gorges; surmontées, de rochers, de corniches, rarement d'aiguilles, mais caractérisées plutôt par des formes arrondies et par les grands plateaux, nus ou boisés, les rhyolites, étalées en d'im-

1 On trouve quelques détails de caractère géographique dans un article publié dans le "Géographical Journal," London Vol. VI, 1895. O. H. Howarth. "The Western Sierra Madre of Mexico."

menses nappes jusqu'à 1000 mètres d'épaisseur ont dû faire éruption par de longues crevasses onvertes pendant des périodes de mouvements continentaux. Des parties de la Sierra offrent une topographie très simple, véritables plateaux de dizaines de kilomètres d'étendue morcelés et diversifiés après une puissante érosion et souvent par des éffondrements. Nous pouvons observer aujourd'hui dans quelques parties, des failles échelonnées, des moreaux engloutis ou penchés, comme ceux du sud de l'Oregon; enfin, des aspects qui rappellent beaucoup les régions rhyolitiques du Grand Bassin de Nevada. Mais la plus grande simplicité géologique de notre Sierra Madre nous gène un peu pour l'interprétation de l'âge et rapports de nos rhyolites. Les andésites très variées sont leur appui général. On trouve cependant au dessous d'elles les schistes et les calcaires crétacés, les diorites et les granulites terciaires, plus rarement le triasique et des schistes et d'autres roches anciennes. La plupart de ces rhyolites ont apparu depuis la fin du miocène jusqu'au milieu du pliocène comme nous croyons le démontrer dans le chapitre consacré à l'âge des rhyolites.


CARTA DE MEXICO
CON LA
distribucion aproximada de las
Rhyolitas.
1900
Escala: 1:10.000.000
90°
85°
80°
75°
35°
30°
25°
20°
15°
115°
Jacksonville
New Orleans
Tampa
Habana
Progreso
Tiximin
Mérida
Valladolid
Campeche
Chansantacruz
Corozal
Bautista
1 Las N
2 El Chi
3 Cerro
4 Tequix
5 El Oro
6 Teziutl
7 Tasco;
8 S. Migu
9 Leon y
10 S. Luis
11 La Bar
12 Bufa d
13 Maravo
14 Bufa d
15 Mezqui
16 El Nay
17 Duran
18 Papasq
19 Parral
20 Cosihu
21 Casas
22 Sierra


—EXPLICACION—
1 Las Navajas.
2 El Chico y Pachuca.
3 Cerro Xicuco y Tula.
4 Tequixquiapan, Cadereyta y Bernal.
5 El Oro é Ixtlahuaca.
6 Teziutlán, Villa de Libres y Zacualtipan.
7 Tasco; Sultepec, Huitzuco.
8 S. Miguel de Allende, Bufas y Sierra de Guanajuato.
9 Leon y Aguascalientes.
10 S. Luis Potosi, Sierra del Jaral, Cerro de S. Pedro.
11 La Barranca Guadalajara
12 Bufa del Real Alto.
13 Maravatio
14 Bufa de Zacatecas, Sierra Fria, de las Palomas y Valdécañas
15 Mezquital del Oro, La Yesca.
16 El Nayarit.
17 Durango
18 Papasquiaro, S. José de Gracia, Indé.
19 Parral, Balleza. Chèix.
20 Cosihuiriachic, Jesus Maria.
21 Casas Grandes
22 Sierra Pinta
CARTA DE MEXICO
CON LA
distribucion aproximada de las
Rhyolitas.
1900
Escala: 1:10.000.000
El Paso
Ciudad Juarez
San Antonio
Laredo
Mier
Camargo
Matamoros
Monterrey
MEXICO
Jalapa
Tlaxcala
Puebla
Veracruz
Cordoba
Morelia
Iguala

INDICE.

L'Institut Géologique du Mexique recevra avec grand intérêt les publications concernant la Géologie, la Géographie physique et l'Histoire Naturelle en général, en échange de son Bulletin *qui se publie par cahiers in 4º avec gravures et planches. Le numéro 1 de ce recueil a paru avec le titre de "Boletín de la Comisión Geológica de México."*

Adresse:

Instituto Geológico de México.
Calle del Paseo Nuevo, núm. 2.

MEXICO, D. F.
MEXIQUE.

Amérique du Nord.

L'Institut Géologique a installé ses départements d'une manière provisoire dans la *Calle del Paseo Nuevo núm. 2;* on est prié de vouloir bien prendre note de sa nouvelle adresse, et aussi de son indépendance absolue de l'Ecole des Ingénieurs dont il a reçu autrefois une gracieuse hospitalité.

On est prié instamment d'accuser réception. Dans le cas où cette formalité aurait été négligée, on serait considéré comme ne désirant plus continuer à recevoir les publications de l'Institut Géologique du Mexique.






SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 01224 2400